PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 20 — 15. Oktober 1935. Redaktionsschluß für Nr. 22 am 1. November 1935. — 36. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

M. Jakob und W. Fritz, Die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen von Sattdampf bis zu 202 kg/cm² (365°). S. 651.

K. Steiner, Die zeitliche Dampfdruckänderung von Wasserstoff-Isotopen-Gemischen bei 20,38° abs. S. 659.

A. Roggendorf, Untersuchung der Frequenzabhängigkeit gasgefüllter Photozellen im Bereich von etwa 20 bis 300 kHz. S. 660.

Besprechungen:

P. Debye, Kernphysik. S. 674.

R. Becker, Theorie der Elektrizität. Band I. S. 674.

G. Hahn, Die homöopolare Bindung. S. 674.

Handbuch der Experimentalphysik. Bd. XVII, I. Teil: Schwingungs- und Wellenlehre; Ultraschall. S. 674.

Hand- und Jahrbuch der chemischen Physik. Band 6: Dielektrische Polarisation. S. 675.

Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. V. — Bd. X: Transplantation bei Tieren — Zwillinge und Sachregister A—Z und Systematischer Inhaltsübersicht. S. 675.

Tables Annuelles de Constantes et Données Numériques. Extrait de Volume X: Données Numériques de Spetroscopie. S. 676.

Vorlesungsverzeichnis für das Winterhalbjahr 1935/36. S. 676.

Nachrichten. S. 682.

ABHANDLUNGEN.

Die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen von Sattdampf bis zu 202 kg/cm² (365°).

Von M. Jakob und W. Fritz.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

1. Einleitung.

Die vorliegende Untersuchung [1] bildet die Fortsetzung und zugleich den Abschluß unserer kalorimetrischen Bestimmungen der Verdampfungswärme des Wassers nach der Henningschen Methode [2, 3, 4, 5, 6].

Das Verfahren und die Versuchsanordnung wurden gegenüber unserer letzten Veröffentlichung [6] nur unwesentlich verändert. Die Messungen wurden bis zu 202 kg/cm² (365°) weitergeführt. Ihre Ergebnisse wurden zusammen mit den früher an der Reichsanstalt gemessenen Werten der Verdampfungswärme in einer Formel zusammengefaßt. Endlich wurde für den ganzen Bereich dieser Messungen (30 bis 365°) auch das spezifische Volumen von Sattdampf berechnet.

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Verein deutscher Ingenieure schulden wir Dank für die Gewährung von Mitteln für unsere Untersuchungen. Bei den rechnerischen Arbeiten haben uns die Herren Dr.-Ing. W. Gehrke und Dr. phil. H. Kipcke freundlichst unterstützt.

2. Auswertungsverfahren.

Bei dem verwendeten Verfahren wird reines Wasser durch elektrische Beheizung in einem Siedegefäß verdampft und der abströmende Dampf bei gleichem Druck kondensiert.

Jeder Versuch führt zu einer Wärmebilanz

$$N' = m_k r_k + a\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + V_e. \qquad (1)$$

Hierin ist

- N' die elektrische Heizleistung N abzüglich einiger kleiner Korrekturen [5],
- m_k die Masse des in der Zeiteinheit kondensierten Wassers,
- r_k die früher [5] als „spezifischer Wärmeaufwand" bezeichnete Größe,
- ϑ_w die Temperatur des Wassers im Siedegefäß,
- ϑ_0 die Temperatur des Aluminiumschutzmantels,
- $a\,(\vartheta_w - \vartheta_0)$ der auf die Zeiteinheit bezogene Wärmeverlust vom Siedegefäß an den Schutzmantel,
- V_e ein konstanter Wärmeverlust in der Zeiteinheit nach außen.

Aus n Versuchen, bei denen wir N' und m_k stark, $(\vartheta_w - \vartheta_0)$ ganz wenig variieren, erhalten wir n Gleichungen der Form (1). Hieraus werden nach der Methode der kleinsten Quadrate r_k, a und V_e bzw., wenn a bekannt ist, r_k und V_e berechnet. An r_k ist dann noch eine kleine Berichtigung Δr_k anzubringen, welche die Überhitzung

des verdampfenden Wassers berücksichtigt (vgl. Abschnitt 6). Sie führt zu

$$(r_k)_w = r_k - \Delta r_k . \qquad (2)$$

Die Verdampfungswärme r und das spezifische Volumen v'' von Sattdampf erhält man dann auf Grund der Clausius-Clapeyronschen Beziehung aus den Gleichungen:

$$r = (r_k)_w (1 - v'/v'') = (r_k)_w - AT v' dp/dT \qquad (3)$$

$$v'' = \frac{1}{AT} \frac{1}{dp/dT} (r_k)_w , \qquad (4)$$

worin v' das spezifische Volumen des gesättigten Wassers, p den Sättigungsdruck, T die zugehörige absolute Temperatur und A das mechanische Wärmeäquivalent bedeuten. Die Größen v' und dp/dT sind sehr genau bekannt, in r gehen sie außerdem nur als Faktoren eines Restgliedes ein.

3. Versuchsanordnung.

Das Siedegefäß mit elektrischem Heizkörper und Widerstandsthermometern ist in Abb. 1 dargestellt. In dieser ist auch das Widerstandsthermometer W_2 eingezeichnet, das bei einer früheren Untersuchung [5] benutzt worden war.

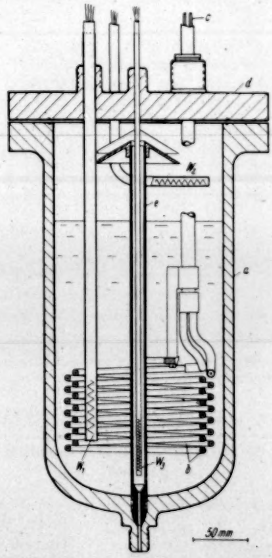

Abb. 1. Siedegefäß mit Thermometer. *a* Siedegefäß; *b* elektrischer Heizkörper (Rohrschlange); *c* Kupferzuleitungen des Heizkörpers; *d* Deckel des Siedegefäßes; *e* Dampfableitungsrohr; W_1, W_2, W_3 Widerstandsthermometer.

Die Platinwiderstandsthermometer W_1 und W_3 waren früher in dünnwandige Silberrohre eingebaut. Besondere Versuche zeigten, daß die Thermometer dann zwar an den normalen Meßstellen (tief eingetaucht, wie in Abb. 1 angedeutet) richtige Werte der Temperatur anzeigten, aber zu niedrige Werte, wenn man sie nach oben verschob. Nachdem die Silberrohre, die offenbar die Wärme zu sehr ableiteten, durch Rohre aus reinem Nickel ersetzt waren, wurde keinerlei Ableitung mehr festgestellt; solange die Thermometerwicklungen innerhalb des Siedegefäßes blieben.

Der früher benutzte elektrische Heizkörper [6], eine Doppelrohrschlange aus Nickel mit isoliertem Heizdraht, wurde wegen einer Beschädigung durch einen gleichen, jedoch mit etwas geringerem elektrischen Widerstand (4,8 Ω statt 6,0 Ω) ersetzt [7].

Der Druck in den Kondensgefäßen und damit im Siedegefäß wurde wie früher [4] mit Hilfe von reinem Stickstoff konstant gehalten. Den dazu erforderlichen Stickstoff von 225 kg/cm² hat uns die Gesellschaft für Lindes Eismaschinen, Berlin-Borsigwalde, trotz betrieblicher Schwierigkeiten geliefert. Der Leitung dieses Werkes danken wir für ihr Entgegenkommen.

4. Die Hauptversuche.

Messungen wurden bei 350°, 360° und 365° (169, 190 und 202 kg/cm²) ausgeführt; außerdem wurden die früheren Versuchsreihen bei 270° und 330° (56 und 131 kg/cm²) wiederholt. Dies schien deshalb zweckmäßig, weil die Ergebnisse der beiden früheren Versuchsgruppen bei 270° unerklärt weit voneinander abwichen und der Ausgleich der Werte von r bei 330° eine gewisse Unsicherheit erkennen ließ.

An einem Versuchstag wurden wie früher 2 bis 4 Einzelversuche von etwa 40 Minuten Dauer mit verschiedenen Heizleistungen (0,15 bis 1,1 kg/h Dampfentnahme) durchgeführt. Während aber früher ein stationärer Zustand leicht erreicht wurde, stellte sich mit Annäherung an den kritischen Punkt das thermodynamische Gleichgewicht immer schwerer und langsamer ein. Wenn man z. B. bei 365° in der Vorperiode Druck und Heizleistung konstant und gleich groß hielt wie in der Meßperiode, so dauerte der Temperaturanstieg um die letzten fehlenden 0,1° mindestens 30 Minuten. Um sicher zu gehen, wurde daher die Vorperiode bis auf 60 Minuten ausgedehnt. $\vartheta_w - \vartheta_0$ lag bei den Versuchen zwischen + 0,1° und — 1,1°, im Mittel bei — 0,3°.

Die Hauptdaten der neuen Versuche sind in den Tabellen I bis V zusammengestellt [8].

Tabelle I.

Hauptdaten der Versuche für $\vartheta_w = 350{,}07\,^\circ$C. $N'_{ber} = 267{,}83\, m_k + 3{,}75\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + 1{,}07$; $r_k = 267{,}83$.

Versuch Nr.		m_k kg/h	ϑ_w °C	$\vartheta_w - \vartheta_0$ °C	N kcal/h	N' kcal/h	$N' - N'_{ber}$ kcal/h
LII.	1	0,5454	350,06	−0,08	150,45	146,70	−0,13
LIII.	1	0,4378	349,95	−0,24	121,72	118,54	+1,11
	2	0,2795	350,06	−0,19	74,36	73,48	−1,72
	3	0,0917	350,08	−0,12	24,43	24,44	−0,73
	4	0,7664	350,09	−0,10	204,82	205,56	−0,38
LIV.	1	0,7634	350,03	−0,32	204,13	204,20	−0,13
	2	0,4805	350,07	−0,27	130,55	130,46	+1,70
	3	0,2735	350,07	−0,29	74,54	74,75	+1,53
LV.	1	0,2768	350,03	−0,34	74,12	73,79	−0,12
	2	0,1438	350,11	−0,43	38,46	37,51	−0,44
	3	0,4646	350,13	−0,36	122,75	123,70	−0,44
	4	0,6857	350,17	−0,39	182,42	182,36	−0,90
LVI.	1	0,6739	350,05	−0,05	182,81	181,76	+0,38
	2	0,4530	350,13	−0,02	121,90	122,62	+0,29
	3	0,2782	350,11	+0,01	74,27	74,36	−1,25
	4	0,1375	350,10	−0,04	38,45	38,97	+1,23

Tabelle II.

Hauptdaten der Versuche für $\vartheta_w = 360{,}01\,^\circ$C. $N'_{ber} = 236{,}67\, m_k + 3{,}51\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + 1{,}34$; $r_k = 236{,}67$.

LVII.	1	0,3802	359,93	−0,70	89,91	88,75	−0,10
	2	0,1673	359,97	−0,72	38,92	38,44	+0,04
	3	0,5586	360,02	−0,53	131,87	131,71	+0,04
LVIII.	2	0,1622	359,98	−0,39	38,30	38,11	−0,27
	3	0,3813	360,01	−0,38	89,29	88,87	−1,38
	4	0,2627	360,04	−0,37	61,83	62,51	+0,31
LIX.	1	0,3755	360,00	−0,57	88,76	88,07	−0,15
	2	0,1689	360,02	−0,59	38,86	38,95	−0,30
	3	0,5573	360,09	−0,43	131,27	131,31	−0,42
LX.	1	0,5583	360,02	−0,58	132,03	132,04	+0,60
	2	0,1676	360,07	−0,53	39,19	39,06	−0,10
	3	0,3748	360,08	−0,38	89,73	89,84	+1,14
	4	0,1611	360,09	−0,41	38,68	38,62	+0,58

Tabelle III.

Hauptdaten der Versuche für $\vartheta_w = 364{,}92\,^\circ$C. $N'_{ber} = 219{,}74\, m_k + 5{,}87\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + 2{,}11$; $r_k = 219{,}74$.

LXI.	2	0,1717	364,88	−1,10	34,28	34,02	+0,64
LXII.	2	0,1649	364,99	−0,66	34,11	34,16	−0,33
	3	0,5361	365,00	−0,545	116,00	115,98	−0,73
LXIII.	2	0,1530	364,88	−0,39	33,67	33,50	+0,06
	3	0,5991	364,95	−0,27	132,75	131,89	−0,30
LXIV.	2	0,1521	364,89	−0,25	34,12	33,74	−0,34
LXV.	2	0,1731	364,88	−0,32	38,72	38,23	−0,04
	3	0,4750	364,98	−0,08	107,30	107,26	+1,22
LXVI.	2	0,1707	364,96	−0,26	38,53	38,46	+0,33
	3	0,3090	364,98	−0,35	67,69	67,45	−0,54
LXVII.	2	0,5956	364,93	−0,09	134,23	132,15	−0,29
LXVIII.	2	0,3968	364,92	−0,23	134,15	132,39	+0,51
	3	0,1924	364,98	−0,11	43,90	43,55	−0,21

Wie früher sind die sich über je einen Tag erstreckenden Versuchsreihen mit römischen, die Einzelversuche mit arabischen Ziffern in zeitlicher Folge bezeichnet. Sie umfassen Messungen aus der Zeit vom 31. Januar 1934 bis zum 25. Januar 1935.

Die aus den Meßwerten nach der Methode der kleinsten Quadrate berechneten wahrscheinlichsten Werte von a, V_e und r_k führen zu den am Kopf jeder Tabelle stehenden Gleichungen für N'_{ber}. Die Unterschiede $N' - N'_{ber}$ zwischen der gemessenen und der berechneten Heizleistung sind trotz der mit Zunahme von Druck und Temperatur steigenden Schwierigkeiten nicht größer als früher und weisen keinen Gang auf. Eine Hauptschwierigkeit besteht darin, daß die für die Messung zur Verfügung stehende Wassermenge mit zunehmendem Druck immer geringer wird. Der vor Beginn einer Versuchsreihe zum Anfüllen des Raumes über dem

Tabelle IV.

Hauptdaten der Versuche für $\vartheta_w = 330{,}06°$ C. $N'_{ber} = 309{,}41\, m_k + 3{,}05\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + 1{,}27$; $r_k = 309{,}41$.

Versuch Nr.		m_k kg/h	ϑ_w °C	$\vartheta_w - \vartheta_0$ °C	N kcal/h	N' kcal/h	$N' - N'_{ber}$ kcal/h
LXIX,	1	0,4811	330,15	+0,12	152,78	152,14	+1,05
	2	0,1080	330,11	−0,03	33,75	34,13	−0,46
	3	0,6719	330,03	−0,00	208,08	207,79	−1,38
	4	0,3418	330,05	−0,09	106,08	106,58	−0,18
LXX,	1	0,3323	329,97	−0,22	105,28	104,05	+0,64
	2	0,1242	330,04	−0,21	38,29	38,33	−0,73
	3	0,6747	330,05	−0,19	208,23	208,25	−1,22
	4	0,4874	330,06	−0,34	151,31	151,25	+0,22
LXXI,	1	0,3411	330,01	−0,34	106,48	105,94	+0,18
	2	0,6685	330,03	−0,33	206,52	206,41	−0,70
	3	0,5567	330,05	−0,34	173,13	173,01	+0,55
	4	0,1088	330,16	−0,12	33,53	34,21	−0,36
LXXII,	1	0,4805	330,01	−0,20	152,31	151,11	+1,80
	2	0,1228	330,09	−0,04	38,48	38,70	−0,45
	3	0,6715	330,02	−0,14	208,76	208,58	−0,02
	4	0,3960	330,04	−0,15	123,73	123,81	+0,46

Tabelle V.

Hauptdaten der Versuche für $\vartheta_w = 270{,}08°$ C. $N'_{ber} = 397{,}85\, m_k + 4{,}58\,(\vartheta_w - \vartheta_0) + 0{,}70$; $r_k = 397{,}85$.

LXXIII,	3	0,3743	270,16	+0,13	150,70	150,17	−0,03
	4	0,6764	270,11	−0,03	270,75	271,22	+1,55
LXXIV,	1	0,3817	270,16	+0,01	151,55	151,72	−0,88
	2	0,5492	270,12	−0,07	218,23	218,64	−0,24
	3	0,6878	270,04	−0,16	273,16	273,41	−0,20
	4	0,1072	270,19	−0,00	43,24	43,14	−0,19
LXXV,	1	0,5259	270,10	−0,29	207,62	207,60	−1,02
	2	0,7270	269,98	−0,52	287,47	287,47	−0,09
	3	0,3819	270,07	−0,37	151,38	151,32	+0,36
	4	0,1110	270,04	−0,36	43,48	43,76	+0,55
LXXVI,	1	0,3794	270,04	−0,36	150,87	150,72	+0,74
	2	0,5245	270,04	−0,48	206,57	206,61	−0,55

Wasserspiegel mit Dampf verbrauchte Teil des Wassers ist nämlich bei 365° schon recht beträchtlich. Ferner strömen von dem jeweils erzeugten Dampf nur zwei Drittel ab, während ein Drittel im Siedegefäß bleibt. Endlich dauert die Einstellung des stationären Zustandes sehr lange (s. oben). Daher wurde der erste Einzelversuch (Ziffer 1) jeder Reihe noch zur Vorperiode hinzugenommen; somit fehlen in Tabelle III alle Einzelversuche mit der Ziffer 1.

Tabelle VI enthält die nach dem beschriebenen Verfahren aus Gleichung (1) berechneten Größen a, V_c und r_k.

Tabelle VI.

Versuchsergebnisse.

Tabelle Nr.	Zahl der Versuche	ϑ_w °C	Nach Gleichung (1) berechnet		
			a kcal/h °C	V_c kcal/h	r_k kcal/kg
I	16	350,07	3,75	1,07	267,83
II	13	360,01	3,51	1,34	236,67
III	13	364,92	5,87	2,11	219,74
IV	16	330,06	3,05	1,27	309,41
V	12	270,08	4,58	0,70	397,85

5. Hilfsversuche über die Temperaturverteilung im Siedegefäß und die Überhitzung des verdampfenden Wassers.

Die Temperaturen innerhalb des Siedegefäßes wurden bei den Hauptversuchen durch Platinwiderstandsthermometer gemessen, deren normale Lage in Abb. 1 angegeben ist, nämlich:

1. bei allen Versuchen durch ein Thermometer W_1, dessen Wicklung beträchtlich unter dem Wasserspiegel lag (Temperatur ϑ_w),
2. bei den Versuchen von 250 bis 310° durch ein gekrümmtes Thermometer mit horizontaler Wicklung W_2 im Dampfraum (Temperatur ϑ_d),
3. bei den Versuchen von 310° ab und der Wiederholung der Versuche bei 270° durch ein in das Dampfableitungsrohr eingebautes Thermometer W_3 (Temperatur ϑ_{de}).
4. Aus dem mit der Druckwaage beobachteten Druck wurde mit Hilfe der Dampfdrucktafel von Osborne und Myers [9] die Sättigungstemperatur ϑ_s berechnet.

Bei unseren früheren Versuchen, besonders bei 270°, mit den Thermometern W_1 und W_2 hatten wir stets beobachtet, daß die Wassertemperatur ϑ_w um 0,1 bis 0,3° höher lag als die

Dampftemperatur ϑ_d (a. a. O. [5], Abb. 4). Vergleichende Druckmessungen zeigten, daß ϑ_d praktisch gleich der Sättigungstemperatur ϑ_s war, das Wasser also überhitzt sein mußte. Bei allen Messungen von 310° ab mit den Thermometern W_1 und W_3 wurde dagegen nur ein ganz geringer Unterschied zwischen ϑ_w und ϑ_{da} beobachtet [10]. Die Erklärung, warum ϑ_{da} von ϑ_d verschieden ist, brachten besondere Hilfsversuche bei 270°, bei denen Wasser wie im Hauptversuch – aber ohne kalorimetrische Messungen – mehrere Stunden lang unter möglichst konstanten Bedingungen verdampft wurde. Während dieser Zeit wurde einmal das Thermometer W_1 verschoben, während W_3 in der Normalstellung blieb, und dann W_3 bei festem Thermometer W_1. Die mehrfach wiederholten Messungen ergaben im Mittel das folgende Bild (Abb. 2):

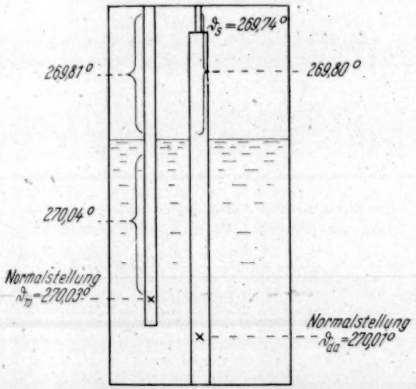

Abb. 2. Temperaturverteilung im Siedegefäß bei 270°.

a) Verschiebung des Wasserthermometers W_1: Innerhalb des Wassers ist die Temperatur konstant und gleich dem in der Normallage von W_1 gemessenen Wert von ϑ_w; im Dampfraum zeigt W_1 eine um 0,23° niedrigere Temperatur an.

b) Verschiebung des Dampfthermometers W_3: Die Temperatur ϑ_{da} in der normalen Lage ist praktisch gleich ϑ_w, wie bei den Hauptversuchen oberhalb 310° immer beobachtet. Nach oben zu nimmt die Temperatur stetig ab; im Gebiet des Dampfraumes zeigt das Thermometer W_3 die gleiche niedrige Temperatur (269,80°) an wie das Thermometer W_1. Diese stimmt innerhalb der möglichen Fehler mit der aus dem Druck berechneten Sättigungstemperatur ϑ_s überein.

Als Beispiel zu b) sei eine der im Dampfableitungsrohr gemessenen Temperaturverteilungen in Abb. 3 gezeigt. Aufgetragen ist $(\vartheta_w - \vartheta_{dx})$, wo ϑ_{dx} die längs der Höhe x mit dem Thermometer W_3 gemessene Temperatur, ϑ_w die konstante Temperatur im Wasser ist. Die Wasseroberfläche ist jeweils für einen Meßpunkt zusammen mit der Lage des Thermometers W_3 angedeutet. Von unten nach oben nimmt ϑ_{dx} zunächst ab; im Bereich des Dampfraumes bleibt es dann konstant; beim letzten angegebenen Versuchspunkt (7) befindet sich die Thermometerwicklung teilweise bereits außerhalb des

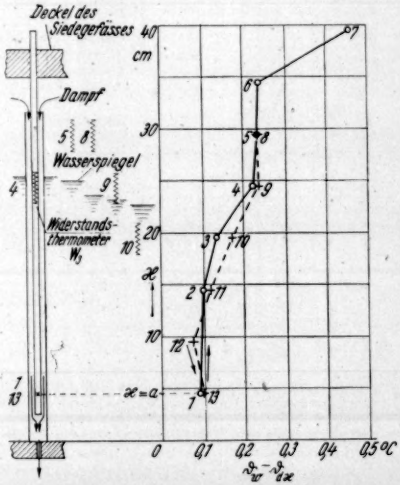

Abb. 3. Temperaturverlauf im Dampfableitungsrohr, gemessen durch Verschieben des Widerstandsthermometers W_3 (siehe Abb. 1). (Zeitliche Folge der Meßpunkte: 1 bis 13.)

Siedegefäßes; ϑ_{dx} nimmt nun infolge der Wärmeableitung schnell ab. Der Dampf ist somit zunächst, in Übereinstimmung mit unseren früheren Messungen bei 270°, kälter als das Wasser, wird aber dann im Ableitungsrohr überhitzt und erreicht an der Austrittsstelle die Temperatur $\vartheta_{da} \approx \vartheta_w$.

Hilfsversuche bei 310° ergaben ebenfalls $\vartheta_{da} \approx \vartheta_w$ und, wie bereits früher mitgeteilt [6], $\vartheta_w \approx \vartheta_s$; d. h. das Wasser war praktisch nicht mehr überhitzt. Zur Aufklärung dieser Erscheinung sind in Abb. 4 in Abhängigkeit vom Druck die verschiedenen Werte von $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ aufgetragen. ϑ_w ist immer zuverlässig gemessen, ϑ_s dagegen aus dem Druck berechnet.

Da wir keine besonders genauen Dampfdruckmessungen ausgeführt haben, unsere Beobachtungen an der Druckwaage vielmehr nur zur Kontrolle und zum Aufrechterhalten konstanten Druckes dienten, ist ϑ_s weniger genau als bei eigens ausgeführten Dampfdruckmessungen zu erreichen wäre. So sind z. B. die negativen Werte von $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ nahe dem kritischen Punkt, an dem, wie eingezeichnet, $\vartheta_w - \vartheta_s = 0$ sein muß, durch Ungenauigkeiten der Druckmessung zu erklären.

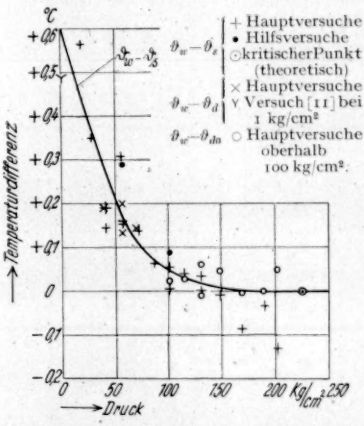

Abb. 4. $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ in Abhängigkeit vom Druck.

In Abb. 4 haben wir weiter $(\vartheta_w - \vartheta_d)$ – für 1 Atm. nach früheren Versuchen über den Verdampfungsvorgang [11] – und oberhalb 100 kg/cm² auch $(\vartheta_w - \vartheta_{da})$ aufgetragen, alles Werte, die nach den obigen Ausführungen nahezu gleich $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ sind.

Abb. 4 umfaßt Beobachtungen an einer waagerechten Heizfläche, einem senkrechten Zylinder und einem Schlangenrohr. $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ ist somit von der Art der verwendeten Heizkörper unabhängig.

6. Berichtigung des spezifischen Wärmeaufwandes r_k.

Da nach Abschnitt 5 bei unserer Anordnung der abströmende Dampf bis zur Austrittsstelle ungefähr auf die Temperatur des Wassers überhitzt wird, vereinfacht sich die früher abgeleitete Gleichung für Δr (a. a. O. [5], Gleichung (14)) zu

$$\Delta r = \left(c_p - c - \frac{dr}{d\vartheta}\right)(\vartheta_w - \vartheta_s). \qquad (5)$$

Hieraus und aus der Beziehung (a. a. O. [5], Gleichung (17))

$$(r_k)_w = r_k - \Delta r_k = r_k - \Delta r \frac{m}{m_k} = r_k - \Delta r \frac{v''}{v'' - v'} \qquad (6)$$

folgt

$$(r_k)_w = r_k - \left(c_p - c - \frac{dr}{d\vartheta}\right)(\vartheta_w - \vartheta_s)\frac{v''}{v'' - v'}, \qquad (7)$$

d. i. Gleichung (2) in ausführlicher Schreibweise.

In Gleichung (5) und (7) sind c und c_p die spezifischen Wärmen von Wasser und Wasserdampf im Sättigungszustand. $(\vartheta_w - \vartheta_s)$ ist aus der Kurve der Abb. 4 zu entnehmen. Im ganzen Gebiet bleibt die Korrektur Δr_k kleiner als 1 Promille.

7. Versuchsergebnisse.

Sämtliche aus unseren Messungen gewonnenen Werte r_k und die nach Gleichung (7) korrigierten Werte $(r_k)_w$ sind in Tabelle VII zusammengestellt. Unsere Meßwerte von 210° bis 310° waren dabei infolge der genaueren Wärmeverlustrechnung (a. a. O. [6], Abschnitt 4) um 0,10 bis 0,12 Proz. zu erhöhen; ferner war durchweg die Korrektur nach Gleichung (7) anzubringen.

Tabelle VII.

Zusammenstellung der Werte des spezifischen Wärmeaufwandes nach den Versuchsreihen I bis LXXVI.

Temperatur °C	r_k kcal/kg	$(r_k)_w$ kcal/kg
210,45	456,88	456,59
229,94	440,37	440,05
250,03	420,11	419,79
250,03	421,83	421,51
270,00	399,33	399,08
270,08	397,85	397,60
270,10	394,34	394,09
285,02	380,39	380,19
299,96	358,88	358,73
309,95	343,91	343,78
310,01	343,51	343,38
320,08	328,21	328,11
330,06	309,41	309,33
330,14	311,39	311,32
340,06	290,23	290,19
350,07	267,83	267,83
360,01	236,67	236,97
364,92	219,74	219,74

Tabelle VIII enthält alle in der Reichsanstalt beobachteten Werte von r zwischen 30° und 365°, nämlich links Hennings Meßwerte [2], ebenfalls auf die internationale Dampftafelkalorie [8] umgerechnet, rechts unsere aus den Werten $(r_k)_w$ der Tabelle VII nach Gleichung (3) berechneten Werte von r zusammen mit den von Jakob [3] bestimmten Werten, sämtlich auf runde Beträge

der Temperatur reduziert. Die einzelnen Versuchsgruppen gleicher Temperatur wurden mit gleichem Gewicht in Rechnung gesetzt [12] und zu einem Wert zusammengefaßt. Bei der Berechnung von r nach Gleichung (3) wurde eingesetzt:

1 kcal $= {}^1/_{860}$ internat. kWh
$A = {}^1/_{426{,}99}$ kcal/kgm [13]
$T = 273{,}16° + \vartheta$
dp/dT = nach den Dampfdrucktafeln von Osborne und Myers (a. a. O. [9])
v' = nach den Messungen von Smith und Keyes [14].

Die von v' und dp/dT herrührenden Fehler in r [siehe Gleichung (3)] dürften unter 0,5 Promille liegen.

8. Ausgleich der beobachteten Werte der Verdampfungswärme.

Die beobachteten Werte der Tabelle VIII haben wir durch eine Formel auszugleichen und darzustellen versucht. Nach manchen vergeblichen Ansätzen erwies sich schließlich als am brauchbarsten die Form

$$r = B \cdot (\vartheta_k - \vartheta)^n. \tag{8}$$

worin ϑ die Temperatur in ° C,
$\vartheta_k = 374{,}2°$ die kritische Temperatur,
B eine Funktion von ϑ ist.

Gleichung (8) erfüllt die theoretischen Grenzbedingungen $r = 0$ und $dr/d\vartheta = -\infty$ für $\vartheta = \vartheta_k$.

Als eine befriedigende Lösung fanden wir hiernach

$$r = \left[a + b\left(\frac{\vartheta}{100}\right) + c\left(\frac{\vartheta}{100}\right)^2 + d\left(\frac{\vartheta}{100}\right)^5\right](\vartheta_k - \vartheta)^{0{,}4} \tag{9}$$

mit den Konstanten $a = 55{,}746$; $b = 1{,}038$; $c = 0{,}2532$; $d = -4{,}83 \cdot 10^{-3}$.

Noch etwas besser werden die Versuchswerte durch die folgende Gleichung wiedergegeben:

$$r = \left[a + b\left(\frac{\vartheta}{100}\right)^{1{,}15} + c\left(\frac{\vartheta}{100}\right)^{6{,}5} + d\left(\frac{\vartheta}{100}\right)^{30}\right](\vartheta_k - \vartheta)^{0{,}365} \tag{10}$$

mit $a = 68{,}596$; $b = 0{,}8162$; $c = -1{,}375 \cdot 10^{-3}$; $d = -0{,}02 \cdot 10^{-15}$.

Abb. 5 zeigt, wie die der Tabelle VIII entnommenen gemessenen Werte r_{gem} von den nach Gleichung (10) berechneten Werten r_{ber} abweichen [15]. Der absolute Betrag der Schwankungen (in kcal/kg) ist im ganzen Gebiet fast gleich. Die gestrichelten Grenzlinien lassen erkennen, daß Gleichung (10) die Versuche bis 240° auf 1,5 Promille, die von 240 bis 340° auf 2,5 Promille, die von 340 bis 365° auf 6 Promille wiedergibt.

Nach Gleichung (10) wurden nun die ausgeglichenen Werte der Verdampfungswärme r von 0 bis 372° berechnet und hieraus mittels der Clausius-Clapeyronschen Formel das spezifische Volumen v'' von gesättigtem Dampf (Tabelle IX). Hierbei haben wir wieder für dp/dT die Werte nach Osborne und Myers, für v' die von Smith und Keyes benutzt.

Tabelle VIII.

Die an der Reichsanstalt kalorimetrisch gemessenen Werte der Verdampfungswärme r.

Temperatur °C	r kcal/kg	Temperatur °C	$(r_k)_w$ kcal/kg	r kcal/kg
30,12	579,28	180,0	482,0	479,2
49,14	569,82	210,0	457,88	452,73
64,85	559,74	230,0	440,00	432,54
77,34	552,73	250,0	420,42	409,91
89,29	546,03	270,0	397,00	382,46
		285,0	380,22	361,78
100,59	538,51			
102,34	537,19	300,0	358,67	335,41
120,78	525,57	310,0	343,55	316,39
140,97	509,84	320,0	328,25	296,49
160,56	496,19	330,0	310,52	273,25
180,72	482,22	340,0	290,32	246,27
		350,0	268,01	215,28
		360,0	236,70	171,82
		365,0	219,39	145,87

Beobachter: Henning (30,1 bis 180,7°); Jakob (180 bis 210°); Jakob u. Fritz (210 bis 365°).

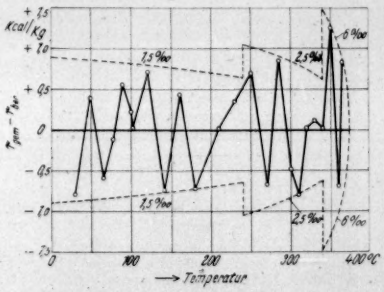

Abb. 5. Vergleich der an der Reichsanstalt gemessenen Werte der Verdampfungswärme mit den nach Gleichung (10) berechneten Werten.

Tabelle IX.

Ausgeglichene Werte von r (Gleichung 10) und v'' (Werte außerhalb des Bereichs der Versuche in Klammern).

ϑ °C	r kcal/kg	v'' $10^3 m^3/kg$
0	(596,3)	(206310)
10	(591,0)	(106440)
20	(585,6)	(57840)
30	580,1	32930
40	574,6	19545
50	568,9	12045
60	563,2	7677
70	557,3	5045
80	551,2	3408
90	545,0	2360
100	538,7	1672,1
110	532,1	1209,1
120	525,4	890,7
130	518,5	667,3
140	511,3	507,7
150	503,9	391,7
160	496,2	306,1
170	488,2	242,0
180	479,9	193,3
190	471,3	155,9
200	462,2	126,86
210	452,7	104,02
220	442,7	85,88
230	432,2	71,35
240	421,1	59,59
250	409,2	50,01
260	396,6	42,13
270	383,1	35,60
280	368,6	30,15
290	352,9	25,56
300	335,9	21,67
310	317,2	$18,35_5$
320	296,5	$15,49_5$
330	273,1	13,01
340	246,3	$10,81_5$
350	214,0	$8,83_7$
360	172,5	$6,97_6$
365	145,0	$6,03_8$
370	(106,8)	(4,99)
372	(83,5)	(4,48)

1 kcal = 1/860 int. kWh.

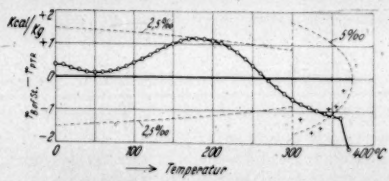

Abb. 6. Vergleich der an der Reichsanstalt ermittelten Werte der Verdampfungswärme [Gleichung (10), Tabelle IX] mit den Ergebnissen von Osborne und Mitarbeitern sowie von Koch.
○ Osborne u. Mitarbeiter (B. of St.)
+ Koch (Versuchspunkte).

9. Vergleich mit fremden Messungen.

Osborne und seine Mitarbeiter im Bureau of Standards, auf deren Messungen der Verdampfungswärme bis 270° wir schon früher eingegangen sind [5], haben ihre Versuche inzwischen bis nahe an den kritischen Punkt ausgedehnt und das Ergebnis in einer Tafel mitgeteilt [16]. In Abb. 6 sind diese Werte ($r_{B.of St.}$) mit denen der Reichsanstalt (r_{PTR}) verglichen. Bis 100 kg/cm² (310°) stimmen beide auf mindestens 2,5 Promille überein; von da ab liegen unsere Werte höher, bis 170 kg/cm² (350°) um höchstens 5 Promille, bei 191 kg/cm² (360°) um 7 Promille, bei 202 kg/cm² (365°), unserem letzten Meßpunkt, schon um 15 Promille. Das gleiche gilt natürlich für die Werte des spezifischen Volumens.

Ferner hat Koch [17] Messungen von r zwischen 100 und 200 kg/cm² ausgeführt. Seine Meßpunkte sind in Abb. 6 als Kreuze eingetragen. Sie liegen 2 bis 5 Promille niedriger als die nach unserer Gleichung.

10. Zusammenfassung.

Die kalorimetrischen Messungen der Verdampfungswärme des Wassers wurden bis 202 kg/cm² (365°) weitergeführt; frühere Beobachtungen bei 56 kg/cm² und 131 kg/cm² wurden wiederholt. Die Arbeit umfaßt 25 Versuchsreihen mit 68 Einzelversuchen sowie besondere Messungen über die Temperaturverteilung innerhalb des Siedegefäßes zur Sicherstellung der Ergebnisse.

Sämtliche an der Reichsanstalt von Henning, von Jakob und von uns kalorimetrisch gemessenen Werte der Verdampfungswärme wurden überprüft und durch eine empirische Formel mit einer sich innerhalb der möglichen Fehlergrenzen haltenden Genauigkeit dargestellt. Aus dieser Formel wurde eine Tabelle für die Verdampfungswärme des Wassers und das spezifische Volumen von Sattdampf im Bereich von 0 bis 372° berechnet.

Literaturverzeichnis und Bemerkungen.

1) Die Ergebnisse wurden zum Teil auf der 3. Internationalen Dampftafelkonferenz in New York im September 1934 vorgelegt und bei der Aufstellung der neuen internationalen Rahmentafeln mitbenutzt.
2) F. Henning, Ann. d. Phys. (4) **21**, 849, 1906; **29**, 441, 1909; **58**, 759, 1919.
3) M. Jakob, Forschungsarb. a. d. Geb. d. Ing.-Wes., H. 310, 9, 1928.
4) M. Jakob u. W. Fritz, VDI-Zeitschr. 73, 629, 1929.
5) M. Jakob u. W. Fritz, Techn. Mech. und Thermodyn. **1**, 173 u. 236, 1930.
6) M. Jakob u. W. Fritz, Forschung a. d. Geb. d. Ing.-Wes. **4**, 295, 1933.

7) Die feinmechanischen Arbeiten hat der Techniker der Reichsanstalt Hans Kneese ausgeführt.

8) In der vorliegenden Arbeit ist 1 kcal = 1/860 kWh gesetzt. Diese Kalorie, bei der 1. Internationalen Dampftafelkonferenz in London zuerst vorgeschlagen, wird nach dem Beschluß der 3. Konferenz in Amerika „Internationale Dampftafelkalorie" genannt. Die Werte unserer früheren Arbeiten (mit 1 kcal = 1/860,4 kWh) wurden auf diese Kalorie umgerechnet.

9) N. S. Osborne u. C. H. Myers, Bur. of Stand. Journ. of Res. **13**, 1, 1934.

10) Die früheren Messungen von ϑ_d bei 310° (a. a. O. [5], Zahlentafel 2) mußten ausgeschieden werden, weil sich nach der Messung herausstellte, daß sich das Thermometer verändert hatte.

11) M. Jakob u. W. Fritz, Forschung a. d. Geb. d. Ing.-Wes. **2**, 435, 1931 (Abb. 16).

12) Bei 250° ist die erste Versuchsgruppe mit 15fachem, die zweite mit 8fachem Gewicht berücksichtigt, entsprechend der Zahl der Einzelversuche. Der Wert bei 270,10° scheint zu tief zu liegen; da wir keinen Meßfehler feststellen konnten, haben wir ihn trotzdem nicht weggelassen.

13) Der Wert für A wurde erhalten mit 1 intern. Wattsekunde = 1,0003 abs. Wattsekunden. Unsere früheren Werte wurden entsprechend umgerechnet.

14) L. B. Smith u. F. G. Keyes, Proc. Amer. Acad. Arts and Sciences **69**, 285, 1934.

15) Hennings Versuchswert für 180,72° ist dabei weggelassen, weil die Messung bei dieser Temperatur nach seiner Angabe [2] nicht mehr sicher war.

16) N. S. Osborne, H. F. Stimson u. D. C. Ginnings, Mech. Engineering **57**, 162, 1935.

17) W. Koch, Forschung a. d. Geb. d. Ing.-Wes. **5**, 257, 1934.

(Eingegangen 26. August 1935.)

Die zeitliche Dampfdruckänderung von Wasserstoff-Isotopen-Gemischen bei 20,38° abs.

Von K. Steiner.

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Bei der Untersuchung des Dampfdruckes einer mit dem Wasserstoffisotop der Masse 2[1]) angereicherten Probe fanden W. Meißner und der Verfasser[2]) einen mit der Zeit kleiner werdenden Dampfdruck der angereicherten Probe. Der untersuchte Wasserstoff enthielt dabei nur wenige Promille des schwereren Isotops. Inzwischen sind der Dampfdruck von reinem D_2 und auch seine zeitliche Änderung bei 20° abs. gemessen worden[1]). Die gesamte Dampfdruckänderung in 100 Stunden war nur 0,3 mm Quecksilbersäule. Auch nach Sorption von reinem D_2 an Kohle von 20° abs. wurde kein Unterschied des Dampfdruckes beobachtet[2]). Dagegen wurde nach der Wärmeleitfähigkeitsmethode an einer Gasprobe von 90 Atomproz. D-Gehalt eine Änderung des Wärmeleitvermögens gefunden, nachdem das Gas an Kohle sorbiert war, die einer Para-Ortho-D_2-Umwandlung zugeschrieben wurde[3]). Bei der Messung der spezifischen Wärme in tiefen Temperaturen ohne Katalysatoren wurde keine Änderung der Ortho-Para-Verteilung der D_2-Moleküle gegenüber Zimmertemperatur gefunden[4]).

Hier soll nun kurz über Versuche berichtet werden, die sich auf die zeitliche Änderung des Dampfdruckes von Gasproben mit verschiedenem D-Gehalt beziehen. Die Gasproben wurden elektrolytisch gewonnen[5]), mit Hilfe von flüssigem Wasserstoff gereinigt und über eine Vorlage mit Platinasbest zur Herstellung des Ortho-Para-Gleichgewichts von Wasserstoff bei Zimmertemperatur in die bereits früher beschriebene Dampfdruckapparatur eingelassen, an die für die Messung der großen Druckunterschiede ein gewöhnliches Differentialmanometer mit einem dritten Schenkel zur Messung des absoluten Druckes angeschlossen wurde. Die D-Konzentration wurde durch Bestimmung der Gasdichte ermittelt. Gleichzeitig mit der angereicherten Probe wurde der Dampfdruck von gewöhnlichem Wasserstoff bei derselben Temperatur gemessen.

Die zeitliche Änderung des Dampfdruckes der mit dem schweren Isotop angereicherten Gasprobe verläuft bei allen untersuchten Konzentrationen in gleicher Weise, und zwar wird der Dampfdruck mit der Zeit kleiner. Die Größe der Dampfdruckänderung ist von der D-Konzentration abhängig. Sämtliche Kurven lassen sich durch entsprechende Dehnung des Maßstabes der Druckachse zur Deckung bringen. Den Zusammenhang zwischen der D-Konzentration und der zeitlichen Dampfdruckänderung gibt die Tabelle wieder, deren erste Zeile die untersuchten Konzentrationen c in Atomprozenten, deren zweite Zeile die nach 10 Stunden ein-

1) Für das schwere H-Isotop mit der Masse 2 wird hier wie üblich das Zeichen D verwendet.

2) W. Meißner u. K. Steiner, Zeitschr. f. Phys. **79**, 601, 1932.

1) R. B. Scott, F. G. Brickwedde, H. C. Urey u. M. H. Wahl, Journ. chem. Phys. **2**, 458, 1934.

2) G. N. Lewis u. W. T. Hanson, Journ. amer. chem. Soc. **56**, 1687, 1934.

3) A. u. L. Farkas u. P. Harteck, Proc. roy. Soc. (A) **144**, 485, 1934.

4) K. Clusius u. E. Bartolomé, Naturw. **22**, 297, 1934; Gött. Nachr. III, **1** Nr. 2.

5) Herr Dr. Justi u. Dr. Lüder haben die Gasproben freundlichst zur Verfügung gestellt, wofür Ihnen auch hier bestens gedankt sei.

getretene Dampfdruckerniedrigung Δp in Millimeter Quecksilbersäule enthält. Aus der Tabelle

c	2,4	13,0	24,6	47,8	94,3
Δp	5,6	13,3	18,6	23,3	5,0

erkennt man, daß die zeitliche Dampfdruckänderung für mittlere D-Konzentrationen von etwa 50 Proz. am größten ist und für die reinen H_2- bzw. D_2-Proben sehr klein wird in Übereinstimmung mit den einleitend erwähnten Beobachtungen.

Die Gasproben enthalten im allgemeinen H_2-, HD- und D_2-Moleküle in einer Zusammensetzung, die außer von der Konzentration noch von der Bildungswahrscheinlichkeit der einzelnen Molekülarten abhängt. Die Konzentration des HD-Moleküls ist für sehr kleine und sehr große D-Konzentrationen gering und für mittlere Konzentrationen am größten. Die beobachtete Abhängigkeit der zeitlichen Dampfdruckänderung von der D-Konzentration geht ungefähr parallel mit dem HD-Gehalt der untersuchten Proben. Die Versuche führen zu der Annahme, daß das HD-Molekül in zwei Modifikationen A und B vorkommt, deren Gleichgewicht sich bei tiefen Temperaturen zu der Modifikation mit dem niederen Dampfdruck verschiebt. Welcher Art diese Modifikationsumwandlung ist, läßt sich noch nicht angeben. Eine Para-Ortho-Modifikation soll bei Molekülen aus ungleichen Atomen nach theoretischen Überlegungen nicht bestehen.

Der Versuch, die beobachteten Dampfdruckänderungen durch eine katalytische Wirkung des HD-Moleküls auf die H_2- und D_2-Moleküle zu erklären, führt nicht zum Ziel. Denn die mit der Umwandlung des H_2-Moleküls bei tiefen Temperaturen verbundenen Dampfdruckänderungen haben das entgegengesetzte Vorzeichen, wie hier beobachtet ist. Eine Umwandlung des D_2-Moleküls bei tiefen Temperaturen von einer Para- in die Ortho-Form mit dem kleineren Dampfdruck ist zwar theoretisch zu erwarten. Aus den einleitend erwähnten Versuchen an reinem D_2 kann man aber schließen, daß diese Umwandlung ohne Katalysator und auch in Gegenwart von Kohle höchstens sehr langsam verläuft. Da die beobachtete zeitliche Dampfdruckänderung für die Probe mit 94 Atomproz. D-Gehalt ungefähr gleich groß ist, wie die für Proben mit den kleinen D-Konzentrationen, die ungefähr denselben Gehalt an HD-Molekülen haben, ist auch eine durch katalytische Wirkung des HD-Moleküls entstehende Umwandlung des D_2-Moleküls auszuschließen. Denn bei gleicher HD-Konzentration müßten die Proben mit großen D-Konzentrationen und damit großem D_2-Gehalt eine viel größere Dampfdruckänderung ergeben als die Proben mit kleiner D-Konzentration und damit sehr kleinem D_2-Gehalt. Die von Farkas und Harteck beobachtete Änderung des Wärmeleitvermögens einer Probe mit 90 Proz. D-Gehalt widerspricht nicht der obigen Annahme, da die Änderung auch durch eine Umwandlung der vorhandenen HD-Moleküle erklärt werden kann.

Die eingehendere Diskussion der hier mitgeteilten Ergebnisse muß bis zu der ausführlichen Veröffentlichung zurückgestellt werden.

(Eingegangen 28. August 1935.)

Untersuchung der Frequenzabhängigkeit gasgefüllter Photozellen im Bereich von etwa 20 bis 300 kHz.

Von Alexander Roggendorf.

A. Ziel der Arbeit.

Die bekannteste Methode zur Untersuchung der Frequenzabhängigkeit von Photozellen beruht auf der Erzeugung des Wechsellichtes durch eine rotierende Lochscheibe[1]). Dieses Verfahren ist geeignet für Untersuchungen im Gebiet der Tonfrequenz. Für höhere Frequenzen als etwa 30–35 kHz dürfte es aber aus mechanischen Gründen nicht geeignet sein[2]).

Aus den Messungen mit der Lochscheibe geht hervor, daß die Empfindlichkeit der gasgefüllten Photozelle mit der Frequenz abnimmt. Offen blieb dabei der weitere Verlauf der Empfindlichkeit. Nach theoretischen Untersuchungen Ollendorffs[3]) soll die Empfindlichkeit der gasgefüllten Photozelle mit steigender Frequenz um eine fallende Linie schwingend verlaufen. Aus einem solchen schwingenden Verlauf würde man erwartungsgemäß auf eine Reihe von ionenkinetischen Eigenschaften, z. B. auf die Beweglichkeit von Ionen, schließen können. Es bestand infolgedessen ein Interesse an einer Apparatur, die auch bei höheren Frequenzen erlaubte, die Empfindlichkeit der gasgefüllten Photozellen zu messen. Auch aus Gründen der technischen Anwendung der Photozellen ist die Kenntnis des weiteren Verlaufs der Empfindlichkeit von Bedeutung. In diesem Zusammenhang interessiert in erster Linie das Verhalten der technischen

1) Vgl. z. B. W. Schäffer u. G. Lubszynski, E. N. T. **8**, 213, 1931; F. Schröter u. G. Lubszynski, Physik. Zeitschr. **31**, 898, 1930.

2) Vgl. W. Leo u. C. Müller, Physik. Zeitschr. **36**, 113, 1935, und W. Kluge, Zeitschr. f. techn. Phys. **12**, 649ff., 1931.

3) F. Ollendorff, Zeitschr. f. techn. Phys. **13**, 606, 1932.

Photozelle, d. h. der Photozelle, deren Dimensionierung, Gasfüllung und Kathodeneigenschaften mit Rücksicht auf hohe Empfindlichkeit und damit praktische Anwendbarkeit gewählt sind.

B. Prinzip der Messung.

Als Modulator für das Licht wurde eine Kerrzelle benutzt, deren Lichtdurchlässigkeit durch Wechselspannungen einstellbarer Frequenz gesteuert wurde. So konnte „Wechsellicht" veränderlicher Frequenz bei gleichbleibender Amplitude erzeugt werden. Wechsellicht bedeutet hier Licht, dessen Stärke um einen bestimmten Mittelwert sinusförmig schwingt.

Als Lichtquelle wurde dabei eine Osram-Kinolampe von 500 Watt benutzt, deren Licht durch einen Kondensor parallel gerichtet und anschließend durch eine Kerrzelle moduliert wurde. Dieses modulierte Licht fiel auf die Photozelle. Der erzeugte Photostrom war eine Summe aus einem Gleich- und einem Wechselstrom. Eine dem Wechselstromanteil proportionale Spannung wurde durch einen aperiodischen Verstärker ausreichend verstärkt. Anschließend wurde gleichgerichtet. Der gleichgerichtete Strom ist ein Maß für den Wechselstromanteil des Photostromes. Die Messung erfolgte durch ein hochempfindliches Drehspulinstrument.

Das Licht wurde in der Kerrzelle durch den gleichzeitigen Einfluß einer Gleich- und einer Wechselspannung auf den Kerrkondensator moduliert. Bei Spannungslosigkeit des Kerrkondensators ist durch Nicolsche Prismen, die vor und hinter der Zelle angeordnet sind, für vollständige Lichtauslöschung gesorgt. Unter Voraussetzung einer linearen Kennlinie der Kerrzelle erfolgt dann eine verzerrungsfreie Umsetzung der Spannungsänderungen in Lichtschwankungen. Die Wechselspannung wurde dabei einem in der Spannungsamplitude und in der Frequenz regelbaren Hochfrequenzröhrengenerator entnommen. Da der Kerreffekt bis zu sehr hohen Frequenzen (etwa 10^9 Hz) trägheitslos ist, erscheint die Kerrzelle als Modulator für den vorliegenden Zweck geeignet.

C. Der Hochfrequenzröhrengenerator für 6–300 kHz.

Der Röhrengenerator arbeitete in Selbsterregung durch Dreipunktschaltung[1]) (Fig. 1). Um Frequenzen im gesamten Bereich von 6 bis 300 kHz zu erzeugen, wurde für den Schwingungskreis eine Reihe von auswechselbaren Spulen und Ölkondensatoren verwendet. Die überbrückbare Spule in der Leitung zwischen Anode und Schwingungskreis ist bei Frequenzen unter 20 kHz bei der Frequenzmessung erforderlich, da der verwendete Wellenmesser als untere Grenze eine Frequenz von etwa 20 kHz besaß. Bei kleineren Frequenzen wurden mittels dieser Spule die Oberwellen gemessen.

Die erzeugte Wechselspannung wurde induktiv auf den Kerrzellenkreis übertragen. Durch die Koppelung mit dem Schwingungskreis war die Wechselspannung an der Kerrzelle hinreichend

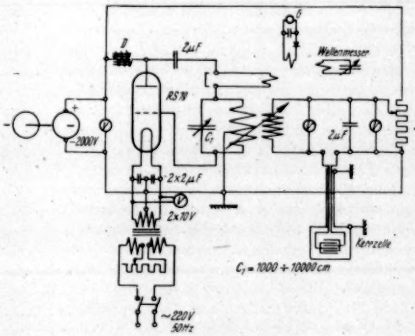

Fig. 1. Hochfrequenzgenerator (6–300 kHz.)

oberwellenfrei. Die Spannung wurde durch veränderliche Koppelung bzw. durch Änderung der Anoden- oder auch Heizspannung geregelt. Gemessen wurde sie durch ein statisches Instrument.

Die Leistung des Röhrengenerators war durch die Verwendung der Röhre *RS* 19 auf maximal 250 Watt begrenzt. Bei einer Kapazität der Kerrzelle in der Größenordnung von etwa 1000 cm und der zusätzlichen Schaltungskapazität von etwa 100 cm ließ sich bei allen Frequenzen des gesamten Bereiches eine Wechselspannung bis zu 300 Volt eff. bei etwa 1000 bis 1200 Volt Anodenspannung und 15–16 Volt Heizspannung erreichen. Größere Belastungen waren bei der zweckmäßig sehr losen Koppelung nie erforderlich. Eine gewisse Leistungsüberdimensionierung war bei den Messungen sehr angenehm, da dadurch eine schnellere Bedienungsmöglichkeit gegeben war.

D. Die Kerrzelle.

1. Die Hauptaufgabe bei der Konstruktion der Kerrzelle ist eine verzerrungsfreie Umsetzung der am Kerrkondensator liegenden Spannung in

[1]) Über die Wirkungsweise vgl. z. B. G. Möller, Die Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen, S. 47 ff., Braunschweig 1929.

Lichtschwingungen. Wie wir oben sahen, war in dem hier benutzten Frequenzbereich eine verzerrungsfreie Modulation des Lichtes zu erwarten, sofern man nur bei der Konstruktion der Zelle darauf achtet, daß die Feldstärke an allen vom Licht durchfluteten Stellen homogen ist. Man kommt so zwangsläufig zu einem ebenen Plattensystem. Zur Herabsetzung des Einflusses der Feldverzerrungen an den Plattenrändern macht man die Plattenlänge in Richtung des Lichtstrahles möglichst groß. Erheblich schwieriger waren im Einklang damit die folgenden Anforderungen an die Kerrzelle zu befriedigen:

2. Die durchgelassene Lichtintensität sollte mit Rücksicht auf die erwünschte geringe Verstärkungsziffer des Verstärkers möglichst groß sein.

3. Die Kapazität der Zelle war im Hinblick auf die Leistung des Hochfrequenzgenerators niedrig zu halten, wobei zu beachten ist, daß auch bei kleinen Plattengrößen infolge der hohen Dielektrizitätskonstante des Nitrobenzols ($\varepsilon = 36$) schon recht große Kapazitäten entstehen.

4. Die Kerrzelle mußte sorgfältig abgeschirmt werden, damit kein Eingriff der am Kerrkondensator herrschenden hohen Feldstärke auf irgendeinen Teil des in unmittelbarer Nähe aufgestellten Hochfrequenzverstärkers stattfinden konnte.

5. Die Kerrzelle mußte dicht gegen Nitrobenzol und seine Dämpfe sein.

Punkt 2 ist an sich am leichtesten durch große Ausdehnung des Kerrsystems senkrecht zur Lichtstrahlrichtung zu befriedigen. Dabei könnte man zunächst große Plattenabstände wählen, um viel Licht durchzulassen. Die Forderung großer Plattenausdehnung widerspricht aber den Bedingungen des Punktes 3. Dies könnte man durch weite Plattenabstände zum Teil wieder ausgleichen. Da dann aber die Spannung am Kerrkondensator wieder sehr groß sein muß, um dieselbe Amplitude des Wechsellichtes zu erzielen, wie bei kleinen Abständen, würde man sofort gegen Punkt 4 verstoßen. Denn eine sorgfältige Schirmung läßt sich bei hohen Spannungen nur sehr schwer erzielen. Man sieht also, daß weitgehende Erfüllung je einer der einzelnen Forderungen von 1–4 zum Widerspruch mit mindestens einer der anderen Forderungen führt.

Durch Versuche wurde festgestellt, daß die Wahl eines Kerrsystems nach Fig. 2 eine ausreichend gute Lösung darstellt. Danach besteht der Kerrkondensator aus einem planparallelen Plattenpaar, das sich etwa in quadratischer Fläche überdeckt. Eine größere Lichtdurchlässigkeit als die damit erzielte wäre auch mit Rücksicht auf die starke Erwärmung schwerlich zu erreichen gewesen.

Nicht ganz einfach war der Einbau des Kondensators in ein schirmendes und gleichzeitig gegen Nitrobenzol dichtes Gefäß. Es wurde ein Gefäß nach Fig. 2 aus vernickeltem Messing konstruiert. Der Lichtstrahl gelangte durch eingesetzte Glasfenster in die Kerrzelle hinein und wieder hinaus.

Durch Blenden an den Nicols und durch die Größe der Nicols selbst wurde dafür gesorgt, daß das Licht nur die planparallelen Zwischenräume zwischen je 2 Platten und nicht die Umgebung des eigentlichen Kerrkondensators durchsetzte.

Unter Verwendung von Wasserglas wurden alle Stoßstellen haltbar gedichtet. Zur Verhinderung von Überdrücken durch entwickelten Dampf, besonders nach längerer Benutzungspause der Kerrzelle, wurde jedesmal nach Beginn des Betriebes ein enger konischer Verschluß in der Verschlußschraube am Isolierstoffdeckel geöffnet.

Eine genügende elektrische Schirmung wurde durch den Einbau der Zelle in das Metallgefäß allein noch nicht erreicht. Deshalb wurde die Zelle einschließlich Klemmen, ungepanzerten Zuleitungsenden und Nicolprismen in einem Kasten aus 1 mm dickem Eisenblech untergebracht. In den Kasten wurde die Zuleitung zur Kerrzelle vom Hochfrequenzgenerator hereingeführt. Als Leitungen wurden etwa 8 m Panzerader (NPA) verwendet. Während die Aufstellung des Hochfrequenzgenerators in etwa 6 m Entfernung von der Kerrzelle bzw. vom Verstärker genügte, um von dort kommende störende Einflüsse auf den Verstärker unwirksam zu machen, genügte die bisher geschilderte Abschirmung der Kerrzelle noch nicht. Dies ist auch verständlich, da die am Kerrkondensator vorhandenen hochfrequenten Spannungen bis etwa 300 Volt betragen, was Feldstärken in der Größenordnung von etwa 5000–6000 Volt/cm entspricht. Wie aus den Daten des weiter unten beschriebenen Verstärkers geschlossen werden kann, dürften Störfelder von etwa 10^{-3} Volt/cm, die als direkte Wirkung der Spannungen am Kerrkondensator zum Photozellenkreis gelangen, eine einwandfreie Messung unmöglich machen. Die Schirmmittel müssen also die Störfeldstärke auf mindestens 10^{-4} Volt/cm herabsetzen, das bedeutet Herabsetzung der Feldstärke um mindestens $^1/_5 \cdot 10^{-6}$ längs einer Entfernung Kerrkondensator–Photozelle von etwa 10–12 cm. Deshalb wurde zwischen den Kasten, der die Kerrzelle enthält, und die Photozelle ein verhältnismäßig langes Metallrohr eingeschaltet, das in eine Öffnung des sonst vollständig geschlossenen und geerdeten Verstärkerkastens eingelötet war (vgl. Fig. 2). Erst nach Anbringen des Rohres wurde der Verstärker ausreichend

störungsfrei. Das konnte leicht dadurch geprüft werden, daß bei Abblendung des modulierten Lichtbündels durch einen dünnen Papierstreifen

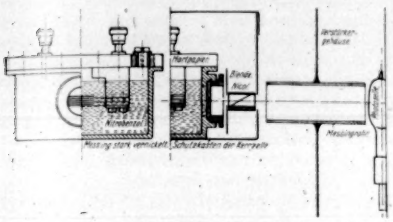

Fig. 2. Aufbau und Schirmung der Kerrzelle.

am Meßinstrument des Verstärkers derselbe Ausschlag vorhanden sein mußte, wie bei ausgeschaltetem Hochfrequenzgenerator. Es wird hier klar, daß bei Hochfrequenzmessungen in dem hier benutzten Frequenzbereich neben den grundlegenden schaltungstechnischen und physikalischen Problemen konstruktive Fragen des Versuchsaufbaues eine entscheidende Rolle spielen.

Als Füllung für die Kerrzelle wurde Nitrobenzol der Firma Riedel-De Haën nach DApV, hell verwendet. Dieses wurde mit reinem Aluminiumoxyd versetzt und nach längerem Stehen filtriert und destilliert. So vorbereitetes Nitrobenzol war sehr durchsichtig und durchschlagsfest und konnte länger als 3 Monate aussetzend im Betrieb gehalten werden.

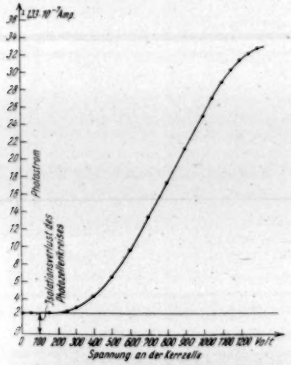

Fig. 3. Kennlinie der Kerrzelle.

Wie man aus der Kennlinie (vgl. Fig. 3) ersehen kann, ist die Kerrzelle für verzerrungsfreie Modulation von Licht geeignet. Die Kennlinie wurde folgendermaßen aufgenommen: Paralleles Licht konstanter Helligkeit traf auf die Kerrzelle mit den davor und dahinter geschalteten Nicolschen Prismen in Auslöschstellung. Dahinter wurde eine Photozelle (Pz 1 KG) aufgestellt. Die Spannung an der Photozelle wurde konstant gehalten. Im Stromkreis der Photozelle lag ein Widerstand von $5 \cdot 10^5$ Ohm in Reihe mit einem hochempfindlichen Drehspulinstrument. Die Kennlinie der Kerrzelle wurde durch Messung des Photostromes in Abhängigkeit von der Gleichspannung an der Kerrzelle aufgenommen. Man ersieht aus Fig. 3, daß der mittlere Teil der Kennlinie in sehr guter Weise mit einer Geraden übereinstimmt, so daß die sinusförmigen Schwankungen um die konstante Vorspannung an der Kerrzelle (vgl. Fig. 1) unverzerrt in Lichtschwankungen um einen Mittelwert umgesetzt werden können. Die Gleichvorspannung betrug bei den unten beschriebenen Messungen 850 Volt und die Amplitude der Wechselspannungen maximal 300 Volt.

E. Der Hochfrequenzverstärker.

Die Hauptanforderungen, die man an einen Meßverstärker für Hochfrequenz stellen muß, sind möglichst weitgehende Unabhängigkeit der Verstärkungsziffer, d. h. des Verhältnisses der Wechselspannungen am Eingang und Ausgang des Verstärkers von der Frequenz und der Betriebsdauer während einer Reihe von zusammenhängenden Messungen. Davon ist allerdings die letztere die bei weitem wichtigere Forderung. Kann die erste Forderung nicht streng eingehalten werden, etwa infolge eines zu großen Frequenzgebietes, in dem der Verstärker arbeiten soll, so ist mindestens die genaue Kenntnis des Frequenzganges der Verstärkungsziffer nötig. Es ist aber zu beachten, daß die Berücksichtigung und die Feststellung einer „Eichkurve" im Gegensatz zu einer Eichgeraden infolge von Umrechnungen Fehlerquellen mit sich bringen kann. Am einfachsten und bequemsten wird man jedenfalls messen können, wenn man völlige Konstanz der Verstärkungsziffer in Abhängigkeit der verwendeten Frequenzen und während der Versuchsdauer anstrebt. Die Konstanz der Verstärkungsziffer in Abhängigkeit von der Amplitude kann in manchen Fällen notwendig sein. Hier ist dies aber von geringerer Bedeutung.

Aus dem Gesagten muß man für den Bau eines Hochfrequenzmeßverstärkers folgende Richtlinien ableiten:

Alle Schaltelemente müssen für sich weitgehend frequenzunabhängig sein. Durch ausreichende Dimensionierung in thermischer Hinsicht trägt man einer hinreichenden Lebensdauer, d. h. einer Konstanz des Verstärkers während der Versuchsdauer Rechnung. Eine Einstellbarkeit oder Regelung einzelner Schaltelemente von

außen während des Meßbetriebes sollte mit Rücksicht auf die Reproduzierbarkeit der Messungen vermieden werden. Selbstverständlich scheiden abstimmbare Verstärker völlig aus. Man kommt so zwangsläufig zur Anwendung von kapazitiv gekoppelten Widerstandsverstärkern, deren grundsätzlichen Aufbau Fig. 4 zeigt. Dabei ist nur der Verlauf der hochfrequenten Stromkreise berücksichtigt.

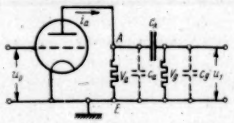

Fig. 4. Hochfrequenzschema eines Widerstandsverstärkers.

Für die Dimensionierung eines solchen Verstärkers kann man von den folgenden Überlegungen ausgehen. Diese sind zwar nur roh und überschlägig, zeigen aber für die Dimensionierung der Schaltelemente den richtigen Weg. Nehmen wir an, die am Eingang der Stufe herrschende Spannung u_0 bedingt einen proportionalen Anodenstrom i_a. Dies bedeutet einen proportionalen Spannungsabfall zwischen den Punkten A und E, sofern r_a ein Widerstand ist, der so klein gegen alle anderen parallel dazu liegenden Schaltelemente ist, daß er bei allen vorkommenden Frequenzen allein maßgeblich für den Gesamtwiderstand ist. Ist der Kopplungskondensator sehr groß, d. h. ist der Spannungsabfall an seinen Klemmen klein, dann ist also, da die Spannung A–E der Spannung u_0 proportional ist, die Ausgangsspannung u_1 nahezu proportional der Eingangsspannung u_0. In der Schaltskizze 4 ist mit c_a die Kapazität der Leitungen und sonstigen Schaltelemente bezeichnet, die zwangsläufig parallel zum Ohmschen Widerstand r_a liegt. Entsprechendes gilt für c_g in bezug auf den Gitterwiderstand r_g. Die Kapazität läßt sich zwar durch einen geeigneten Aufbau der Schaltelemente recht klein machen, niemals aber ganz vermeiden. Setzt man nun für einen Augenblick den Widerstand von c_k als klein voraus, so kann man sich r_a und r_g zu r und c_a und c_g zu c vereinigt denken. Für einen aperiodischen Verstärker muß man nun verlangen, daß der resultierende Widerstand $\mathfrak{R}$ aus r und $\frac{1}{j\omega c}$ nicht merklich frequenzabhängig ist. $\mathfrak{R}$ ergibt sich zu:

$$\mathfrak{R} = \frac{r\,\frac{1}{j\omega c}}{r + \frac{1}{j\omega c}}.$$

$\omega = 2\pi f$ = Kreisfrequenz,
f = Frequenz.

Der Absolutwert davon ist:

$$R = \frac{r}{\sqrt{1 + (\omega r c)^2}}.$$

Man sieht also, daß mit steigender Frequenz R kleiner wird, also auch der Spannungsabfall A–E. Dies bedeutet eine fallende Verstärkungsziffer mit steigender Frequenz. Für vorliegende Untersuchungen mußte von vornherein damit gerechnet werden, daß Frequenzen von $2 \cdot 10^4$ bis $3 \cdot 10^5$ Hz verwendet wurden. Die Kapazitäten c_a und c_g bzw. c liegen bei gutem Aufbau der Schaltelemente etwa in der Größenordnung von 20 cm, d. h. ungefähr bei $2 \cdot 10^{-11}$ Farad. Soll also mit Rücksicht auf die Frequenzunabhängigkeit des Verstärkers R ungefähr gleich r werden, dann ist die Bedingung dafür, daß

$$(\omega \cdot r \cdot c)^2 \ll 1$$

wird. Man wird also mindestens verlangen müssen, daß

$$(\omega \cdot r \cdot c)^2 \leq 10^{-1}$$

wird, d. h.

$$r = \frac{1}{\sqrt{10} \cdot 2\pi \cdot f \cdot c}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{10} \cdot 2\pi \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-11}} = 8400 \text{ Ohm}.$$

Für den endgültig ausgeführten Verstärker wurde $r_a = 5000$ Ohm und $r_g = 50000$ Ohm gewählt, so daß für Frequenzen bis mehr als $3 \cdot 10^5$ Hz der Verstärker hinsichtlich der Größe des Anodenwiderstandes richtig bemessen ist. Liegt einmal der Anodenwiderstand fest, dann ist auch der Gitterwiderstand nicht mehr frei wählbar, da es als zweckmäßig bekannt ist, den Gitterwiderstand maximal etwa 10mal größer als den Anodenwiderstand zu machen.

Bisher hatten wir angenommen, daß $\frac{1}{\omega c_k}$ verhältnismäßig klein ist. Die minimale Frequenz sollte etwa $2 \cdot 10^4$ Hz betragen. Also ist mit der gewählten Kapazität von $c_k = 3{,}3 \cdot 10^{-8}$ Farad

$$\frac{1}{\omega c_k} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 3{,}3 \cdot 10^{-8}} = 240 \text{ Ohm}.$$

Bei Berücksichtigung der Phasenlage ist dieser Wert gegenüber r_g von 50000 Ohm vernachlässigbar klein, so daß man nach wie vor die Spannung A–$E = u_1$ setzen darf.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Kapazitäten c_a und c_g eine Abnahme und die Kopplungskapazität eine Zunahme der Verstärkungsziffer des Verstärkers mit steigender Frequenz bewirken. Jeder kapazitiv gekoppelte

Widerstandsverstärker hat also eine Verstärkungskennlinie, die ein Maximum bei einer bestimmten Frequenz hat. Aufgabe der Projektierung aperiodischer Verstärker ist, ein möglichst flaches Maximum und für Meßverstärker nahezu eine Parallele zur Frequenzachse zu erzielen. Da die Größe von c_a und c_g durch Konstruktion des Verstärkers nur bis auf einen gewissen Kleinstwert gebracht werden kann und außerdem der Frequenzbereich des Verstärkers jeweils feststeht, wird die Größe des Anodenwiderstandes und damit des Gitterwiderstandes zwangsläufig festgelegt. Die Kopplungskapazität ist durch die untere Grenzfrequenz festgelegt.

Die Verwendung der oben errechneten Schaltelemente des Widerstandsverstärkers ist ohne Rücksicht auf die Röhrentype nicht möglich. Der Anodenwiderstand muß dem inneren Röhrenwiderstand angepaßt werden. Außerdem spielen die übrigen Röhrendaten für die Größe der Verstärkungsziffer in bekannter Weise eine Rolle. Die Größenordnung der errechneten Widerstände schließt eine Verwendung normaler Hochfrequenzverstärkerröhren von vornherein aus, da deren innerer Widerstand in der Regel etwa bei 10^5 Ohm liegt. Eine für unseren Zweck sehr gut geeignete Röhre stellt die im Handel nicht erhältliche „steile Pentode" von Telefunken dar. Sie hat einen geeignet niedrigen inneren Widerstand, eine für die Größe der Verstärkungsziffer ausschlaggebende, sehr hohe maximale Steilheit von 10 mA/Volt bei mittleren Anodenströmen von etwa 25 mA. Infolge dieser Eigenschaften kann man an den Anodenwiderständen von nur 5000 Ohm doch verhältnismäßig große Spannungsabfälle und damit Verstärkungsziffern erreichen.

Der Schwerpunkt der bisher geschilderten Entwicklungsarbeiten mit aperiodischen Meßverstärkern für Hochfrequenz lag in der Sorge für die Frequenzunabhängigkeit. Demgegenüber spielen andere Gesichtspunkte, die bei der Entwicklung von Verstärkern verschiedenster Art wesentliche Beachtung erfordern, hier nur eine geringe Rolle. Dies bezieht sich z. B. auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes und der Anschaffung, auf die leichte und einfache Bedienbarkeit, auf die Forderung nach schneller Inbetriebsetzung usf.

Die eben besprochenen Hauptschaltelemente finden wir in der Schaltskizze des ausgeführten Verstärkers (vgl. Fig. 5) in folgender Weise wieder:

1. Anodenkreis: a–b–c–d–d–e–a
2. Gitterkreis: a–b–f–d.

Der Hochfrequenzkreis der Photozelle ist: g–h–i–g. Am Widerstand von 10 kOhm dieses Kreises liegt der Eingangskreis der ersten Verstärkerstufe. Für die Wahl dieses Widerstandes sind grundsätzlich dieselben Überlegungen maßgebend wie für die Bestimmung des Anodenwiderstandes der Verstärkerstufen. Da die Nebenkapazitäten einschließlich Eigenkapazität der Photozelle hier etwas kleiner sein dürften, wurde der Widerstand zu 10 kOhm festgelegt.

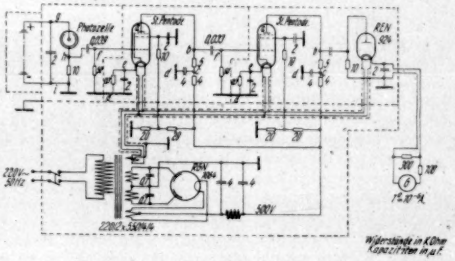

Fig. 5. Schaltbild des Verstärkers für 20—300 kHz.

Am Ausgang des Verstärkers liegt eine einfache Diodengleichrichterstufe. Die dort vorhandene Spannung wird über den Gleichrichter durch ein hochempfindliches Galvanometer gemessen. Infolge des Überbrückungskondensators von 2 μF waren die aus dem Verstärker herausführenden Leitungen frei von Hochfrequenz.

Die für die Photozelle nötige Gleichspannung wird parallel zum Kondensator von 2 μF eingeführt. Die Batterie wurde als Spannungsquelle gewählt, da diese bei den sehr kleinen Photogleichströmen mit Aufwendung geringer Mittel auf einfache Art konstante Spannung liefert. Kontrollmessungen ergaben, daß sich während aller Messungen die Spannung nicht änderte.

Den Verstärkerstufen wurde die Anodenspannung aus einem Netzanschlußgerät über Dämpfungswiderstände von 4 kOhm zugeführt. Weglassen dieser Dämpfungswiderstände bedeutet bei Verstärkern dieser Art sofort Einsetzen von Schwingungen infolge Rückkopplung der einzelnen Stufen.

Zur Erzeugung einer geeigneten Gittervorspannung wurden in die Leitung Erde—Kathode Widerstände von etwa 300 Ohm gelegt. Der durch den Anodengleichstrom vorhandene Spannungsabfall bildete so die Gittervorspannung und bestimmte den Arbeitspunkt der Röhre. In den Zuleitungen zum Schirmgitter lag wiederum ein Dämpfungswiderstand zur Unterdrückung der Schwingneigung. Für die Hochfrequenz

wurde das Schirmgitter über einen Kondensator von 2 μF nach Erde kurzgeschlossen.

Die Einstellung der erforderlichen Verstärkungsziffer geschah bei der ersten Inbetriebnahme des Verstärkers durch Veränderung der Gittervorspannung, d. h. Auswechslung der Widerstände in der Leitung Erde–Kathode. Die Verstärkungsziffer wurde auf folgende Weise geprüft: In den Anodenstromkreis wurde ein Strommesser gelegt, und an Gitter und Kathode wurde eine Batterie von etwa 1 Volt kurzzeitig angeschlossen. Die dabei auftretende Stromänderung gab unter Berücksichtigung der Größe des Anodenwiderstandes überschlägig die Verstärkungsziffer. Sie betrug bei verschiedenen Meßreihen etwa 150–200 für beide Stufen zusammen. Die Schirmgitterspannung wurde bei derselben Gelegenheit auf ihren günstigsten Wert eingestellt. Waren einmal die Widerstände eingestellt, so blieben sie unverändert, bis ein Röhrenwechsel eine Neueinstellung des Verstärkers erforderlich machte.

Der Aufbau des Netzanschlußgerätes ist normal. Nur wurde hier auf besonders gute Glättung und ausreichende Bemessung Wert gelegt. Die Primärspannung wurde genau auf 220 Volt konstant gehalten.

Die bisherigen Betrachtungen bezogen sich fast ausschließlich darauf, die richtige Größe der Schaltelemente zu finden und diese zu einer geeigneten Schaltung zusammenzustellen. Wir haben oben gesehen, wie kleine Kapazitäten, die durch den Aufbau der Schaltelemente bedingt sind, die Dimensionierung eines Hochfrequenzverstärkers wesentlich beeinflussen. Sobald es sich also um Frequenzen von etwas mehr als $2 \cdot 10^4$ Hz handelt, wird man diese Einflüsse durch geeigneten konstruktiven Aufbau des Verstärkers günstig zu beeinflussen suchen. Ebenfalls sind in diesem Frequenzbereich die Möglichkeiten induktiver oder kapazitiver Kopplung der einzelnen Stufen bei mangelhaftem Aufbau gegeben. Mit diesen Fragen hängt das Problem ausreichender Schirmung eng zusammen, wobei an Schirmung gegen fremde und aus dem Verstärker selbst stammende Störungen gedacht sei. All diese Gesichtspunkte hat man beim Aufbau des Verstärkers gleichzeitig zu beachten. Man erkennt dabei, daß bei Hochfrequenzverstärkern (Frequenz etwa über $2 \cdot 10^4$ Hz) die Angabe einer geeigneten Schaltung allein nicht ausreicht, und daß ein zweckmäßiger konstruktiver Aufbau für einen richtig arbeitenden Verstärker ebenso wichtig wie die Schaltung selbst ist. Da konstruktive Forderungen in der Regel verschiedene gleichwertige Lösungen zulassen, so sei hier die zur Ausführung gebrachte Lösung als Beispiel gezeigt.

Im Schaltbild des Verstärkers (Fig. 5) sind durch gestrichelte Linien die Teile des Verstärkers umrahmt, die gegen andere Teile abgeschirmt werden müssen. Dementsprechend wurde das Gehäuse des Verstärkers in verschiedene

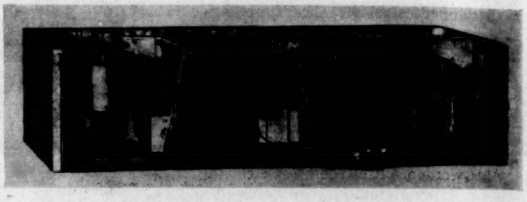

Fig. 6. Ansicht des geöffneten Verstärkergehäuses, Verstärkerzellen. (Links: Gleichrichterstufe, Mitte und rechts: Verstärkerstufen, ganz rechts: Photozelle, vorn: eine steile Pentode.)

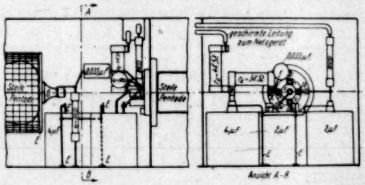

Fig. 7. Konstruktiver Aufbau einer Verstärkerstufe.

Zellen eingeteilt, die man aus den Fig. 6 und 7 ersehen kann. Der Kasten sowie die Zellenwände bestehen aus 1 mm starkem, verzinktem Eisenblech, wodurch die vollständige Abschirmung des Verstärkers gegen äußere Störfelder gelang. Diese waren in erster Linie von der Kerrzelle und dem Hochfrequenzgenerator her zu erwarten. Die Schutzmaßnahmen dagegen haben wir im Kapitel über die Kerrzelle bereits gesehen. In diesem Zusammenhang muß noch darauf hingewiesen werden, daß die gesamte Apparatur von vornherein in einem Raum Aufstellung finden muß, der nicht von starken Störfeldern durchsetzt ist. Der Verstärkerkasten stand mit einer guten Erdleitung (Gas-Wasserleitung) in Verbindung.

Die Zellenwände des Verstärkergehäuses dienten gleichzeitig als Grundlage für den Aufbau der Schaltelemente. Die Leitungen des Netzanschlußgerätes und die Wechselstromleitungen für die Röhrenheizung wurden durchwegs als aluminiumgepanzerte Lackleitungen verlegt.

Durch die feste Auflage auf den Zellenwänden war die Panzerung gut geerdet.

Der Aufbau der Hochfrequenzkreise ist entscheidend von der Sockelanordnung der verwendeten Röhre abhängig. Die steilen Pentoden haben für den Aufbau des Verstärkers sehr günstig gelegene Elektrodendurchführungen. Das Gitter ist zu einer Klemme oben am Glaskolben der Röhre geführt. Der Sockel enthält also die Anschlüsse für die Anode, Schirmgitter, Kathode und die beiden Zuführungen zum Heizdraht. Diese Anordnung bewirkt nahezu zwangsläufig eine waagerechte Montage der Röhre. Dadurch erhält man kürzeste Leitungen und die geringste Ausdehnung der Hochfrequenzkreise. Aus Fig. 6 ersieht man, daß die einzelnen Verstärkerstufen hintereinanderliegen. In Fig. 7 ist der Übergang der ersten Verstärkerstufe zur zweiten genauer, als man es aus der Photographie erkennen kann, herausgezeichnet worden. Die Röhrensockel sind an den senkrechten Zellenwänden montiert. Im Vergleich mit dem Schaltbild (Fig. 5) erkennt man aus Fig. 7 die räumliche Anordnung der Schaltelemente des Hochfrequenzkreises. Mit Ausnahme der Überbrückungskondensatoren von 4 und $2 \cdot 2\ \mu$F sind alle Elemente der Hochfrequenzkreise in genügender Entfernung von den geerdeten Zellenwänden an ihren Zuleitungsdrähten starr aufgehängt. Dies ist mit Rücksicht auf möglichst kleine Nebenkapazitäten, deren wesentliche Bedeutung wir eben sahen, geschehen. Weiter kann man aus Fig. 7 sehen, daß die Hochfrequenzkreise nur sehr kleine Schleifen bilden, deren Größe nur noch von den Abmessungen der Widerstände, Kondensatoren und Röhren abhängt. Induktive Kopplung mit anderen Kreisen einschließlich äußeren Störfeldern ist also weitgehend vermieden. Außer der Einteilung des Verstärkers in Zellen zwecks Schirmung der Stufen gegeneinander war es noch notwendig, die Pentode mit einem geerdeten Drahtkorb zu umgeben.

Ähnliche Vorkehrungen wie bei den Verstärkerstufen wurden beim Aufbau des Photozellenkreises und der Gleichrichterstufe getroffen. Man sieht dies gleichfalls aus Fig. 6. Am wichtigsten ist ein zweckmäßiger Aufbau des Photozellenkreises, da dort Störungen die größte Auswirkung infolge der anschließenden Verstärkung haben können. Man sieht aus Fig. 6, daß der Photozellenkreis freitragend und in ganz geringer räumlicher Ausdehnung aufgebaut ist. Die Nebenkapazitäten sind dadurch gering und die Schleife des Photozellenkreises klein. Die Verbindung zur ersten Verstärkerstufe wird auf engstem Raum über den zylindrischen Kopplungskondensator hergestellt, der von dem Gitterwiderstand und dem Widerstand im Photozellenkreis gehalten wird. Unmittelbar neben dem oberen Ende des Gitterwiderstandes liegt die Gitterklemme der ersten steilen Pentode.

Weiterhin interessieren Fragen, die mit der zeitlichen Konstanz der Messungen bzw. mit der Lebensdauer des Verstärkers zusammenhängen. Bei Meßverstärkern ist zunächst besonders darauf Wert zu legen, daß die Widerstände auch eine genügende thermische Festigkeit besitzen. Da hier die Ströme zum Teil recht groß sind, werden in den verschiedenen Widerständen beträchtliche Leistungen vernichtet, die in Wärme umgesetzt auch abgeleitet werden müssen. Bei den verhältnismäßig hohen Spannungen müssen die Kondensatoren die nötige Spannungsfestigkeit besitzen. Weit schwieriger sind die Lebensdauerfragen bei den Röhren. Die steilen Pentoden sind sehr weitgehend ausgenutzt, so daß man im Augenblick noch mit geringeren Lebensdauern rechnen muß als bei Normalröhren. Da man aber eine leichte Kontrolle der Verstärkungsziffer anstellen kann, ist es leicht, den Zustand der Röhre dauernd zu überwachen. Die Röhren arbeiten längere Zeit völlig konstant. Sobald aber eine Abnahme der Leistung merkbar wurde, wurden die Röhren ausgewechselt, da der weitere Abfall der Leistung sehr schnell vor sich ging. Die starke Ausnutzung der Röhren hat eine sehr starke Erwärmung zur Folge. Deshalb wurden die Röhren im Betrieb durch einen auf den Verstärkerkasten aufgesetzten Ventilator angeblasen. Die Luft umspülte die Röhren und verließ seitwärts den Kasten. Dadurch wurde Sekundäremission an den Gittern vermieden, die ohne Kühlung sehr schnell einsetzte und Messungen unmöglich machte. Änderungen der Verstärkungsziffer bei Zimmertemperaturen von 15 bis 20° wurden nicht beobachtet. Die Gesamtapparatur erreichte nach etwa einer halben Stunde Betriebszeit den Beharrungszustand. Nach der Anlaufzeit wurden unter Voraussetzung sonst gleicher Bedingungen innerhalb der erreichten Meßgenauigkeit keine Änderungen der Meßergebnisse, selbst nicht bei ununterbrochenen Betriebszeiten bis zu 10 Stunden beobachtet, so daß auch die bei Meßverstärkern etwas ungewöhnliche zusätzliche Luftkühlung nicht zu Hindernissen bei den Messungen führte. Da außerdem der Verstärker nur aus einer Stromquelle gespeist wurde (220 Volt, 50 Hz), die bequem konstant zu halten war, war die Möglichkeit gegeben, zusammenhängende Messungen über eine längere Zeit durchzuführen.

F. Die Eichung des Hochfrequenzverstärkers.

Wie andere Meßgeräte muß selbstverständlich auch ein Meßverstärker für Hochfrequenz

entsprechend seinem Verwendungszwecke geeicht werden. Diese Eichung erstreckt sich im allgemeinsten Falle auf folgende Punkte:

Die Verstärkung muß soweit wie möglich

1. frei von zeitlichen Schwankungen sein,
2. frequenzunabhängig sein,
3. amplitudenunabhängig sein.

Wir haben im vorhergehenden Abschnitt gesehen, daß der verwendete Verstärker die Forderungen des Punktes 1 befriedigt.

Zur Kontrolle der Frequenzunabhängigkeit muß in allen Fällen an die Eingangsklemmen des Verstärkers eine bestimmte Wechselspannung gelegt werden, deren Frequenz innerhalb des Meßbereiches des Verstärkers regelbar ist. Es ist bekannt, diese Spannung einem Spannungsteiler für Hochfrequenz zu entnehmen, da die Verstärkereingangsspannung in der Regel so klein ist, daß ihre direkte Messung nicht möglich ist. Das Verhältnis von Gesamtspannung zu der verlangten Teilspannung wird also sehr groß sein. Deshalb werden auch die Einflüsse von Nebenkapazitäten des zunächst als rein ohmisch gedachten Spannungsteilers erheblich sein. Ferner wird aber ein Spannungsteiler wegen seiner verhältnismäßig großen Ausdehnung eine große Kapazität gegen Erde haben. Eine kleine Ausdehnung kann man ihm nicht geben, da dann die hohe Gesamtspannung am Spannungsteiler in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Eingangsklemmen des Verstärkers liegen müßte. Dies würde aber Kopplungen ermöglichen, deren Stärke man nur sehr schwer übersehen könnte. Auch die Einführung der Hochfrequenzleitungen in einen geschirmten Verstärker bedingt schwer übersehbare Nebenkapazitäten. Es ist also oft kaum möglich, sich ein eindeutiges Bild von den Widerstands- und Kopplungsverhältnissen zu verschaffen.

Aus diesem Grunde wurde ein völlig anderer Weg bei der Eichung beschritten. Es wird dabei vorausgesetzt, daß eine Hochvakuumphotozelle abgesehen von ihrer äußeren Schaltung, wozu auch ihre eigene Kapazität gerechnet sei, frequenzunabhängig arbeitet. Dies bedeutet in der Hauptsache, daß die Elektronen durch das Licht unverzögert ausgelöst werden. Man darf, besonders auch im Vergleich mit ähnlichen Verhältnissen bei der Glühelektronenröhre diese Annahme als allgemeingültig voraussetzen. Unter dieser alleinigen Voraussetzung läßt sich folgendes Eichverfahren benutzen:

An die Eingangsklemmen des zu eichenden Verstärkers wird eine Hochvakuumphotozelle in der gleichen Weise angeschlossen, wie aus Fig. 5 ersichtlich ist. Durch moduliertes Licht bestimmter Helligkeit wird ein Photowechselstrom erzeugt, der am Widerstand im Photozellenkreis einen bestimmten Spannungsabfall hervorruft. Ist bei Änderung der Lichtfrequenz bei konstanter Amplitude der Ausschlag des Instrumentes am Ausgang des Verstärkers konstant, so ist der Verstärker in demselben Frequenzbereich frequenzunabhängig. In dieser Weise wurde der oben beschriebene Verstärker geeicht. Fig. 11 und 12 enthalten solche „Eichgeraden". Der Verstärker ist also frequenzunabhängig. Bei allen Versuchen wurden Hochvakuumphotozellen von gleichen Abmessungen und dem gleichen Kathodenmaterial verwendet wie bei den jeweiligen Versuchen mit gasgefüllten Photozellen. In Hinsicht auf Ankopplung und Nebenkapazitäten waren die Messungen mit Hochvakuum und Gaszelle also vollkommen gleich. Dieser Umstand macht das hier verwendete Eichverfahren besonders wertvoll, da die bei anderen Eichverfahren oft nicht übersehbaren Unterschiede zwischen Eich- und Meßschaltung wegfallen.

Die einzelnen Meßpunkte streuen in guter Weise um eine Gerade. Betrachtet man die größten Abweichungen von der gezogenen Geraden, dann stellt man eine maximale Streuung von etwa 3—4 Proz. fest. Dies gilt etwa für den mittleren Bereich der Skala des anzeigenden Instrumentes. Dieser Fehler ist aber nicht allein auf den Verstärker zurückzuführen. Er ist der Fehler der Gesamtapparatur. Die Hochfrequenzspannung an der Kerrzelle und damit die Amplitude des Wechsellichtes wurde mit einem elektrostatischen Voltmeter gemessen. Dieses hat eine normale Ablesegenauigkeit von etwa 1—2 Proz. Besonders muß man dabei berücksichtigen, daß es schnellen Änderungen der Spannung nicht folgen kann, so daß Ablesefehler leicht möglich sind. Der Fehler des Galvanometers ist sehr klein, da es sich um ein gutes Präzisionsinstrument handelt. Er ist aber gleichfalls in dem Gesamtfehler enthalten. Berücksichtigt man die Möglichkeit der Addition von Fehlern, so kann man folgern, daß der Fehler des Verstärkers allein etwa 2—3 Proz. max. betragen kann. Dies ist für einen Meßverstärker im Hochfrequenzgebiet von $2 \cdot 10^4$ bis etwa $3 \cdot 10^5$ Hz ausreichend.

Die Amplitudenabhängigkeit der Verstärkungsziffer und vor allem die Eichung des Verstärkers in Volt bezogen auf die Eingangsspannung, d. h. die genaue Feststellung der Größe der Verstärkungsziffer interessiert hier weniger. Durch überschlägige Versuche, durch Veränderung der Amplitude des Wechsellichtes wurde festgestellt, daß der Galvanometerausschlag mit der Lichtamplitude gleichmäßig ansteigt, was im vorliegenden Falle genügt.

Die Eichung des Verstärkers in Volt kann man mit dem geschilderten Eichverfahren aber leicht durchführen. Man braucht dazu einen Hilfsverstärker für Niederfrequenz von etwa 50 Hz. Dieser ist leicht zu bauen, da er nur eine einzige wesentliche Forderung zu erfüllen braucht: Konstanz der Verstärkung während der Versuchsdauer. Der Photozellenkreis wird dabei in gleicher Weise wie bei den Hochfrequenzmessungen beibehalten und mit dem Niederfrequenzverstärker in gleicher Weise gekoppelt. Auf die Art des Aufbaues braucht dabei kaum geachtet zu werden, da unübersehbare Kopplungen bei 50 Hz nicht zu befürchten sind. Die Eichung wäre dann etwa so durchzuführen:

Man stelle bei Hochfrequenz die Spannungen an der Kerrzelle und an der Lichtquelle auf einen bestimmten Wert ein und lese dabei den Ausschlag x am Galvanometer des Verstärkers ab. Dann schließe man an den Photozellenkreis den Niederfrequenzverstärker an und betreibe die Kerrzelle bei gleicher Spannung wie vorher, aber mit Niederfrequenz von 50 Hz. Dabei wird das Instrument des Niederfrequenzverstärkers einen Ausschlag y haben. Nun verdunkle man die Photozelle und schließe an den Widerstand im Photozellenkreis eine Wechselspannung von 50 Hz an. Diese regele man so lange, bis das Instrument des Niederfrequenzverstärkers wieder den Ausschlag y zeigt. Dies sei bei einer Spannung von a Volt der Fall. Dann muß man folgern, daß der Ausschlag x der Spannung von a Volt am Widerstand des Photozellenkreises entspricht. Dies kann man nun auch für Ausschläge x_1–x_n durchführen und erhält so die „Amplitudenkennlinie" des Verstärkers. Die Regelung und Messung kleiner Spannungen bei 50 Hz ist wohl so einfach und in verschiedenster Weise durchführbar, daß hier darauf nicht eingegangen zu werden braucht. Die auf Grund der heutigen Anschauungen über die lichtelektrische Elektronenauslösung berechtigte Annahme der Frequenzunabhängigkeit der Hochvakuumphotozelle ist bei dem vorgenannten Verfahren die einzige Voraussetzung. Das Eichverfahren mit Verwendung einer Hochvakuumphotozelle ist also für alle Kontrollen, die man an einem Hochfrequenzverstärker anstellen kann, geeignet. Seine besonderen Vorzüge liegen darin, daß die Photozelle einschließlich ihres Kreises nicht mit größeren Nebenkapazitäten und Induktivitäten behaftet ist, als irgendein sonstiger Eingangskreis eines Verstärkers. Man braucht also nicht mit ungünstigeren Kopplungsverhältnissen bei der Eichung zu rechnen als bei den Messungen. Der Photozellenkreis kann ferner weitgehend jedem anderen Eingangskreis angeglichen werden. Dies ist notwendig, da bei Hochfrequenz die Ankopplung immer wesentlich für die Betriebsbedingungen sein wird. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß man die Schirmung des zu eichenden Verstärkers nicht mit Hochfrequenzleitungen zu durchbrechen braucht. Der hochfrequent modulierte Lichtstrahl kann unter voller Aufrechterhaltung der Schirmung durch eine Metallröhre in den Verstärker bzw. zu der dort aufgestellten Photozelle hineingelassen werden.

G. Messung der Frequenzabhängigkeit von gasgefüllten Photozellen.

Vor der Besprechung einwandfreier Messungen ist es zweckmäßig, Fehlerquellen zu erwähnen, deren Kenntnis vor Irrtümern bewahren kann. Wie wir oben sahen, sind die Kopplungsverhältnisse entscheidend für den Frequenzgang des Verstärkers. Mit einem falsch dimensionierten Verstärker wurden z. B. an einer Kaliumgaszelle Pz 1 KG Versuche angestellt. Diese ergaben eine (scheinbare) Frequenzabhängigkeit der Photozelle mit folgendem Verlauf: Bis etwa 29 kHz fiel der Photowechselstrom mit steigender Frequenz, um dann wieder anzusteigen. Da nachweislich die Kopplungskondensatoren zu klein und die Anodenwiderstände zu groß waren, überdeckten sich die fallende Empfindlichkeit der Photozelle mit der steigenden des Verstärkers. Das Minimum der Kennlinie ist also nicht allein durch die Eigenschaften der Photozelle bedingt. Erst die Eichung brachte eine Klärung in obigem Sinne.

Im folgenden sollen nunmehr Messungen mit der oben beschriebenen richtig dimensionierten Apparatur besprochen werden. Auch damit sind noch fehlerhafte Messungen möglich. Dies liegt allerdings nicht am Verstärker, sondern an der Kerrzelle und dem Hochfrequenzgenerator. Man sieht auf Fig. 8 die Aufnahme der Frequenzabhängigkeit einer gasgefüllten Photozelle. Bei kleinen Frequenzen sind eigenartige Einschnitte

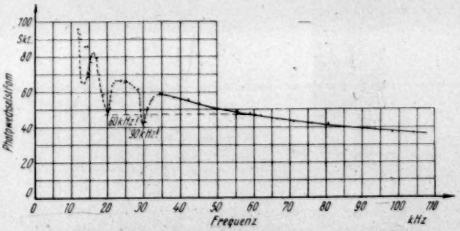

Fig. 8. Störungen infolge Resonanz des Kerrzellenkreises. (Kerrzellenkreis schwingt in der dritten Oberwelle der am Hochfrequenzgenerator eingestellten Frequenz.)

in dem sonst glatten Frequenzverlauf zu bemerken. Es fällt aber auf, daß die Minima dieser Einschnitte bei Ordinaten liegen, die bezogen auf die glatte Kurve jeweils der dreifachen Frequenz entsprechen. Daraus ist zu folgern, daß das Licht nicht mit der am Hochfrequenzgenerator gemessenen Frequenz moduliert wurde, sondern mit der 3. Oberwelle davon.

Der am Hochfrequenzgenerator angekoppelte Kerrzellenkreis kann eine Eigenfrequenz haben, die der 3. Oberwelle der Generatorfrequenz entspricht. Da die Kopplung variabel und außerdem die Kopplungsspulen auswechselbar sind, kann sich der gleiche Fall bei verschiedenen Frequenzen wiederholen. Abhilfe wurde durch Parallelkondensatoren zur Kerrzelle oder durch andere Kopplung geschaffen, so daß bei jeder Frequenz von der 3. Oberwelle unbeeinflußte Messungen angestellt werden konnten.

Der beschriebene Verstärker ist, wie wir oben sahen, so gebaut, daß die Schaltung keinen Einfluß auf die Frequenzabhängigkeit hat. Nachdem so sichergestellt war, daß der Verstärker für die Durchführung der Messung geeignet ist, wurden mit verschiedenen Typen von Photozellen Versuche unternommen. Zunächst wurden zwei Zellen der Type Pz 8 CG und CV untersucht. Es handelt sich dabei um recht empfindliche Zäsiumzellen mit Gasfüllung (CG) und eine Hochvakuumzelle (CV). Aus Fig. 9 erkennt man, daß diese Zellen kugelförmige Kathoden und zentrale Anoden in Form eines kurzen Stabes haben, an dem ein kleines rundes Plättchen befestigt ist. Die Form der Anode ist hier ver-

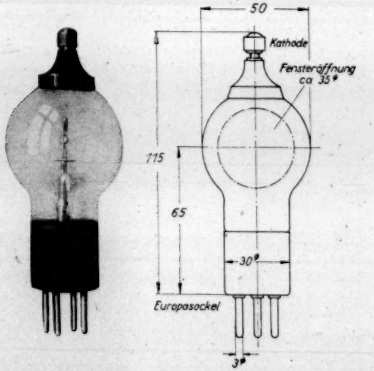

Fig. 9. Zäsium-Photozelle Pz8 CV bzw. CG. Die Abbildung der Zelle links zeigt eine Röhre, die noch keinen Kathodenbelag auf der Glaswand besitzt (die Galvanos wurden in freundlicher Weise von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft zur Verfügung gestellt).

mutlich auf das Ergebnis der Messungen von nicht allzu großem Einfluß. Die Rechnungen Ollendorffs beziehen sich auf ein planparalleles System. Wie aber weiter unten gezeigt wird, ist bei solchen Zellen kein prinzipieller Unterschied gegenüber Kugel- und Zylinderzellen festzustel-

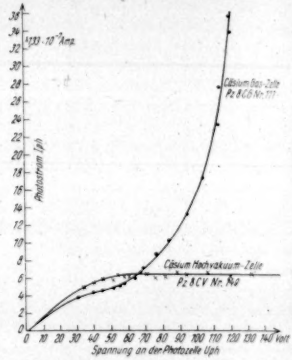

Fig. 10. Statische Kennlinien der Zäsiumzellen Pz 8.

len, so daß die mit diesen Photozellen erzielten Ergebnisse auch im Hinblick auf Ollendorffs theoretische Untersuchungen maßgeblich sind.

Diagramm (Fig. 10) zeigt die statische Kennlinie von Kugelzellen Pz 8. Es wurde so aufgenommen, daß an die Kerrzelle eine konstante Spannung von 850 Volt gelegt wurde. Die Spannung an der Photozelle wurde verändert, wobei sich der Photostrom in der dargestellten Weise veränderte. Bei anderer Lichtstärke erhält man Diagramme mit proportionalen Stromstärken. Ebenso ergeben sich bekanntlich bei Belichtung mit Wechsellicht kleiner Frequenzen (bis zu etwa 5000–8000 Hz) ähnliche Kennlinien für die Abhängigkeit von Photowechselstrom und Saugspannung (unter Voraussetzung gleichbleibender Belichtung). Die Hochvakuumzelle Pz 8 CV erreicht bei einer Spannung von etwa 60 Volt ab eine Sättigung, während bei der Gaszelle Pz 8 CG etwa bei dieser Spannung die Ionisierung beginnt und der Strom erst langsam und dann außerordentlich stark ansteigt. Schließlich trift Glimmen ein. Das Diagramm ist aber mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Zelle nicht bis zur Glimmspannung aufgenommen worden.

Mit den beiden Zellen Pz 8 wurde nun die Abhängigkeit des Photowechselstromes von der Frequenz des Wechsellichtes untersucht. Fig. 11 zeigt das Ergebnis. Man sieht daraus, daß zunächst bis zu Frequenzen von etwa 60–70 kHz die Empfindlichkeit der Zelle mit der Spannung

an der Zelle (Uph) steigt. Alle Kurven für die verschiedenen Spannungen laufen aber in eine Parallele zur Frequenzachse zusammen, so daß oberhalb von 60—70 kHz die Empfindlichkeit der Photozelle Pz 8 CG unabhängig von Frequenz und Saugspannung wird, sich also in diesem Frequenzbereich wie eine Hochvakuumzelle verhält. Dazu vergleiche man die auf demselben Diagramm eingezeichnete Kennlinie für die

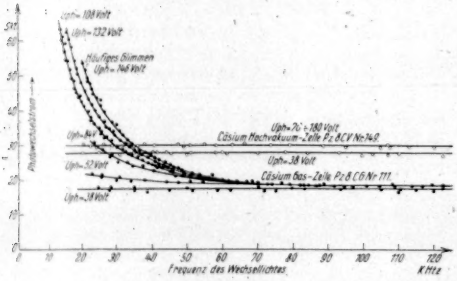

Fig. 11. Frequenzabhängigkeit der Zellen Pz 8 CG und CV.

Hochvakuumzelle Pz 8 CV, die vollständige Frequenz- und Spannungsunabhängigkeit im Sättigungsgebiet zeigt (obere Grade). Bei sehr kleinen Saugspannungen wird die Größe des Photostromes für beide Zellenarten abhängig von der Saugspannung, aber unabhängig von der Frequenz. Von einem wellenförmigen Verlauf ist also nichts zu beobachten, selbst dann nicht, wenn man die Saugspannung so weit erhöht, daß die Zelle dicht am Glimmpunkt arbeitet. Dies war bei der oberen Kurve der Fall (Uph = 146 Volt). Dabei fing die Zelle oft an zu glimmen. Durch einen Vorwiderstand in der Leitung zwischen positiven Klemmen der Batterie und Anode der Photozelle in der Größe von etwa 100000 Ohm, der vom Photowechselstrom nicht durchflossen wurde, wurde verhindert, daß das Glimmen stabil und dadurch die Zelle zerstört wurde. Wenn also das Glimmen einsetzte, kippte die Zelle sehr schnell wieder in den Zustand der Photoionisierung zurück. Der Betrieb kurz vor dem Glimmen der Zelle ist sicherlich am besten dazu geeignet, die von Ollendorff theoretisch gefundenen Trägheitserscheinungen nachzuprüfen. Ein wellenförmiger Verlauf ist aber aus den Messungen nicht zu ersehen.

In gleicher Weise verhielten sich Zellen mit halbzylinderförmiger Kathode und etwa V-förmiger, zentraler Anode. Es handelte sich um die Zellentypen CG 8838 (Zäsium-Gaszelle) und CV 8867 (Hochvakuumzelle). Auch hier liegt die obere Kurve (Fig. 12) direkt am Glimmpunkt. Die Werte für den Photowechselstrom sind bei dieser Kurve nicht so ohne weiteres mit denen für die Pz 8-Zellen zu vergleichen, da andere Vor- und Nebenwiderstände am Galvanometer benutzt wurden, um die verschiedene Empfindlichkeit der Zellen anzugleichen.

Die Zelle CG 8838 ist erst ab 140 kHz frequenzunabhängig. Dies wird aber verständlich durch die möglicherweise verschiedene Gasfüllung, den vielleicht anderen Gasdruck in der Zelle und die verschieden langen Wege der Ionenlawinen.

Um nun zu sehen, wie die Verhältnisse bei planparallelen Elektroden liegen, für die speziell Ollendorffs Rechnungen gelten, wurden mit einer Kalium-Gaszelle Pz 1 (Fig. 13) gleichartige Versuche unternommen (vgl. Fig. 14). Auch hier ändert sich prinzipiell nichts. Die Frequenzunabhängigkeit beginnt hier bei 110 kHz. Versuche mit kleinen Saugspannungen wurden dabei nicht unternommen. Sie hätten aber auch bestimmt das Bild nicht geändert, da nur bei großen Saugspannungen Änderungen zu erwarten waren. Die oberste Kurve liegt wiederum in direkter Nähe des Glimmpunktes. Eine Hochvakuumzelle der Art Pz 1 KV stand nicht zur Verfügung. Dies ist hier auch nicht so wichtig, da gegenüber den anderen Zellenformen keine Änderungen zu erwarten sind.

Man erkennt aus den letztgenannten Versuchen, daß sich die Verhältnisse gegenüber denen der Type Pz 8 grundsätzlich nicht ändern. Man muß also annehmen, daß der Verlauf des Photowechselstromes in Abhängigkeit der Frequenz sich nach dem in Fig. 15 gezeigten Schema vollzieht. Es ist bekannt, daß bei kleinen Frequenzen bis etwa 5000 Hz gasgefüllte

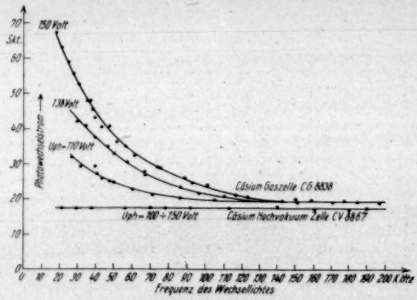

Fig. 12. Frequenzabhängigkeit der Zellen CG 8838 und CV 8867.

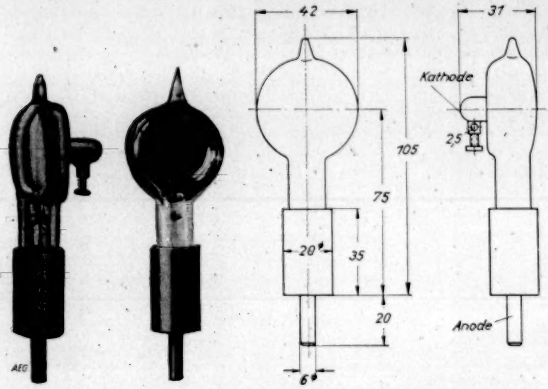

Fig. 13. Kalium-Photozelle Pz 1 KV bzw. KG. (Die Galvanos wurden in freundlicher Weise von der AEG. zur Verfügung gestellt.)

Zellen frequenzunabhängig sind, wobei die Stärke des Photostromes mit der Saugspannung (Uph) steigt (vgl. rechtes Diagramm). Diese Abhängigkeit ist auch aus dem linken Diagramm zu ersehen, das die Strom-Spannungskennlinie bei kleinen Frequenzen enthält. Mit steigender Frequenz (rechtes Diagramm) nimmt der Photostrom für alle Saugspannungen ab. Alle Kurven für die verschiedenen Saugspannungen laufen in eine Parallele zur Frequenzachse zusammen. Dieser Punkt ist abhängig von den besonderen geometrischen Verhältnissen der Zelle und der Art und dem Zustande des Füllgases. Bei höheren Frequenzen sind die Zellen frequenz- und spannungsunabhängig. Bei kleinen Saugspannungen, d. h. unterhalb des Einsetzens der Ionisierung, ist die technische Gaszelle frequenzunabhängig bei konstanter Spannung. Das gleiche Verhalten zeigen Hochvakuumzellen unterhalb der Sättigungsspannung.

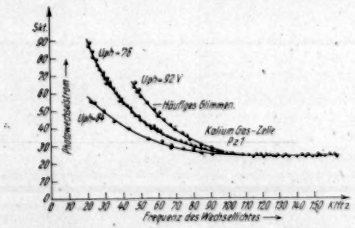

Fig. 14. Frequenzabhängigkeit der Zellen Pz 1 KG.

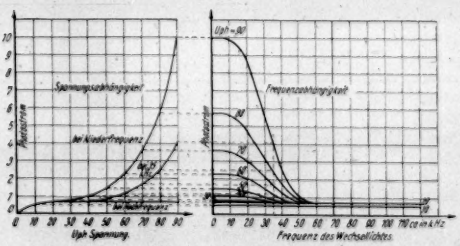

Fig. 15. Schema des Frequenzganges gasgefüllter Photozellen.

H. Ausblick.

Die vorliegenden Messungen an technischen Photozellen zeigen, daß mit steigender Frequenz der Photowechselstrom sich einem Endwert nähert. Dies stimmt mit der Ollendorffschen Forderung überein. Der wellenförmige Verlauf war allerdings nicht feststellbar. Es ist aber auch nicht zu erwarten, daß bei den verwendeten technischen Photozellen solche Weltenkennlinien auftreten, wie die folgende ganz rohe Überschlagsrechnung zeigt.

Die mittlere Geschwindigkeit zwischen zwei Zusammenstößen ist:

$$\bar{v} = \frac{e \cdot \mathfrak{E}}{m \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{t}{2},$$

$\mathfrak{E}$ (Volt/cm) Feldstärke,
e (coul) Elementarladung,
m (g) Trägermasse,
t (s) Zeit

und die Weglänge zwischen zwei Stößen

$$\lambda = \frac{1}{2} \frac{e \cdot \mathfrak{E}}{m \cdot 10^{-7}} \cdot t^2.$$

Daraus ergibt sich die Zeit zwischen zwei Stößen zu:

$$t = \sqrt{\frac{2\,m \cdot 10^{-7}}{e \cdot \mathfrak{E}} \cdot \lambda}.$$

Folglich ist die mittlere Geschwindigkeit:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{e \cdot \mathfrak{E} \cdot \lambda}{2\,m \cdot 10^{-7}}}.$$

Für Argon ist die Masse $m = 6{,}5 \cdot 10^{-23}$ g.

Mit $e = 1{,}59 \cdot 10^{-19}$ coul (Elektronenladung) wird

$$\bar{v} \approx 10^5 \sqrt{\mathfrak{E} \cdot \lambda}.$$

Die Laufzeit der Ionenlawine wird, wenn d die Elektrodenentfernung in einem planparallelen System ist:

$$T = \frac{d}{\bar{v}} = \frac{d}{\sqrt{\mathfrak{E} \cdot \lambda}} \cdot 10^5.$$

Für technische Zellen liegt d in der Größenordnung von etwa 1 cm. λ ist durch folgende Überlegung abschätzbar. Aus der statischen Kennlinie weiß man, daß durch die Ionisierung im Gas der Photostrom maximal auf etwa den 15fachen Wert gegenüber dem primären Elektronenstrom (Fall der Vakuumzelle) steigen kann. Jedes lichtelektrisch ausgelöste Elektron muß also 14 weitere durch Stoß erzeugen. Unter der Annahme, daß alle erzeugten Elektronen weiterionisieren, d. h. daß nach dem ersten Stoß zwei Elektronen pro Primärelektron vorhanden sind, nach dem zweiten Stoß vier usw., ergibt sich die Stoßzahl n aus der Summe einer geometrischen Reihe:

$$1 \cdot \left(\frac{2^n - 1}{2 - 1}\right) = 15; \quad n = 4.$$

Die daraus sich ergebende freie Weglänge zwischen zwei ionisierenden Elektronenstößen beträgt also für technische Zellen etwa $^1/_4$ cm. Die freie Weglänge der Ionen dürfte in derselben Größenordnung liegen; da es sich hier nur um eine Abschätzung handelt, wird die freie Weglänge der Ionen gleichfalls mit $^1/_4$ cm angesetzt. Einen etwa gleich großen Wert erhält man aus den Formeln der kinetischen Gastheorie, wenn man für den Gasdruck in der Zelle $p = 0{,}1$ tor und für den gaskinetischen Wirkungsradius des Argons $Rg = 1{,}8 \cdot 10^{-8}$ cm einsetzt. Drücke der angenommenen Größe kommen bei Photozellen vor.

Mit den obigen Zahlen wird also die Lawinenlaufzeit für technische Photozellen mit einer Saugspannung von etwa 100 Volt und einer Elektrodenentfernung $d = 1$ cm

$$T = \frac{1}{\sqrt{100 \cdot \frac{1}{4}}} 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-6}\ [s].$$

Die Abschätzung ergibt nun aus dem folgenden Grunde die Unmöglichkeit des Auftretens eines schwingenden Verlaufes der Frequenzabhängigkeit. Der schwingende Verlauf könnte nur auftreten, wenn die Lawinenlaufzeit der Ionen und die Periodendauer des Lichtes gleiche Größenordnung annehmen. Mit Hinweis auf obige Meßergebnisse spielen aber bis etwa 10^5 Hz Ionen für den Photowechselstrom gar keine Rolle mehr. Bei diesen Frequenzen unterscheidet sich die gasgefüllte Photozelle nicht mehr von einer Hochvakuumzelle. Soll also in dem Gebiet, wo Ionen noch einen Einfluß auf den Photowechselstrom haben, die Lawinenlaufzeit mit der Frequenz des Wechsellichtes von $4–5 \cdot 10^4$ Hz vergleichbar werden, so muß die Lawinenzeit etwa 100mal größer als bei technischen Photozellen werden. Es ist somit sicher, daß der schwingende Verlauf des Photowechselstromes nach Ollendorff bei den heute üblichen Photozellen nicht auftreten kann.

Für die Nachprüfung der Theorie Ollendorffs müßten Sonderphotozellen entwickelt werden, deren Dimensionen etwa um den Faktor 100 zu vergrößern wären, um Lawinenlaufzeiten von geeigneter Größe zu erzielen. Die Feldstärke wird dabei nicht sehr viel vergrößert werden können, um nicht in den Glimmbereich zu kommen. Über Zellen dieser Art liegen noch keinerlei Erfahrungen vor. Es ist also mit erheblichen Entwicklungsarbeiten zu rechnen. Ob solche Zellen überhaupt herstellbar sind, ist ohne entsprechende Vorversuche nicht zu übersehen.

Im Hinblick auf die Photozelle üblicher Dimensionen wird in Fortsetzung der vorliegenden Untersuchung der Einfluß der Gasart und des Gasdruckes interessieren. Die entwickelte Apparatur ist für solche Untersuchungen geeignet.

Für die heute gebräuchlichen Photozellen, die hinsichtlich der Gasart und Gasdruck dem technischen Optimum entsprechen, dürfte der Frequenzverlauf durch die obigen Messungen geklärt sein.

Abschließend möchte ich nicht versäumen, Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Dr.-Ing. E. h. E. Orlich für die Anregung und Förderung der Arbeit, sowie Herrn Dr.-Ing. F. Ollendorff für viele Hinweise bestens zu danken. Ferner danke ich der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für die Bereitstellung der Mittel, der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft für die Überlassung von Photozellen, sowie der Firma Telefunken, insbesondere Herrn Privatdozent Dr.-Ing. M. Knoll, für die Unterstützung beim Aufbau der Apparatur.

Berlin, Elektrotechnisches Laboratorium der Technischen Hochschule Berlin.

(Eingegangen 11. Juli 1935.)

BESPRECHUNGEN.

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten.

P. Debye, Kernphysik. 34 S. Leipzig 1935. S. Hirzel. RM 1,60.

Ein Vortrag von Debye ist immer ein besonderer Genuß. Der vorliegende Vortrag wurde gehalten für die Jahrestagung des Bundes der Freunde der Technischen Hochschule in München 1934 und machte auf alle Zuhörer, zu denen auch der Referent gehörte, durch die Frische der Darstellung und die weise Beschränkung auf die Hauptergebnisse des Gegenstandes einen tiefen Eindruck. In dem jetzt erschienenen Abdruck ist der Stoff etwas erweitert, aber auch in dieser Fassung kommen die großen Züge der Forschung zum klaren Ausdruck. Wir hören von dem historischen Ursprung der Atomzertrümmerung durch Rutherford, von den Versuchen von Cockroft und Walton mit Geschossen kleiner Energie und ihrer theoretischen Deutung nach Gamow, von der Entdeckung des Neutrons und Positrons, von der Paarerzeugung, der künstlichen Radioaktivität, von der Verfeinerung der Atomgewichtsbestimmungen auf Grund der Kernreaktionen durch Rutherford, Kempton und Oliphant einerseits und durch Bethe andererseits, die erstaunlich genau untereinander stimmen. Alles Besprochene wird durch schöne Wilsonbilder und durch lehrreiche Schemata der Kernumwandlungen erläutert.

A. Sommerfeld.

R. Becker, Theorie der Elektrizität. Neubearbeitung des Werkes von M. Abraham. Band I: Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität. Mit einem einleitenden Abschnitte über das Rechnen mit Vektorgrößen in der Physik. 10. Auflage. Gr.-8°. VII und 265 S. Mit 59 Figuren. Leipzig und Berlin 1933. B. G. Teubner. Geb. RM. 14,50.

Die achte Auflage dieses Buches, das bei seiner Bekanntheit und Beliebtheit keiner Empfehlung bedarf, wurde 1931 in dieser Zeitschrift referiert (S. 567). Die nunmehr vorliegende zehnte Auflage unterscheidet sich hiervon durch eine Reihe kleinerer Änderungen. So wurde ein Abschnitt über den Entmagnetisierungsfaktor neu aufgenommen und die Behandlung der Drahtwellen vereinfacht. Neu gegenüber der achten Auflage ist die sehr reichhaltige Aufgabensammlung am Ende des Buches, mit dem schönen Motto aus Jakobus 1, 22. Sie wird nicht nur dem Anfänger das Eindringen in die Elektrizitätslehre erleichtern, auch der erprobte Physiker wird sich beim genauen Durchblättern der Aufgaben darüber ertappen, daß er die Größenordnung des einen oder anderen Effektes nicht richtig einzuschätzen vermag. Scherzer.

G. Hahn, Die homöopolare Bindung. 1. Aufl. Gr.-8°. VIII und 96 Seiten. Frankfurt a. M. 1934. W. Isensee. Preis RM 2.50.

Der Verfasser will mit diesem Büchlein den Leser in den Begriff der homöopolaren Valenz einführen, so wie er in der Lewisschen Theorie vorgeschlagen und besonders in England und Amerika zur Verwendung für die Praxis des Organikers ausgebaut worden ist. Gebundene und ungebundene Elektronenpaare und einsame Elektronen bestimmen die Reaktionsfähigkeit von Atomen und Atomgruppen, die Art der Abschirmung des Kernfeldes durch die mehr oder weniger verzerrte Elektronenhülle den Charakter der Radikale (Donatoren, Akzeptoren).

Wenngleich die Betrachtung von Ladungsverteilungen und Kernfeldabschirmung etwas grob anschaulich anmutet — sicher darf man den Mechanismus, der zur Bildung von chemischen Verbindungen führt, nicht so einfach auffassen — wirft die Darstellungsweise, die der Verfasser anwendet, doch ein neues Licht auf die verschiedensten Probleme. Es ist z. B. verblüffend, wie sich die manigfaltigsten Eigenschaften des Benzolringes zwanglos verständlich machen lassen. Man kann so begreifen, daß die dargebotene Auffassung für das Verständnis von Bindungsverhältnissen tatsächlich nützlich ist. Deshalb ist das Büchlein ganz lesenswert. Jedoch ist dringend davor zu warnen, daß der Leser dieses Werkes, wenn er sonst noch nicht sehr gut mit Fragen des Molekülbaues vertraut ist, auf Grund des Dargebotenen glaubt, schon selbständig zutreffende Erklärungen für Reaktionen finden zu können.

F. H. Müller.

Handbuch der Experimentalphysik. Bd. XVII, 1. Teil: Schwingungs- und Wellenlehre; Ultraschall. Bearbeitet von E. Großmann, H. Martin, H. Schmidt. X und 561 S. Mit 314 Fig. Leipzig 1934. Akademische Verlagsgesellschaft. Brosch. RM 43.—, geb. RM 45.—.

Der vorliegende Band des Handbuches der Experimentalphysik behandelt in den beiden ersten Abschnitten die für sämtliche Gebiete der Physik grundlegend wichtigen Kapitel der Schwingungs- und Wellenlehre. Der erste Teil, verfaßt von H. Martin, beschäftigt sich mit den Erscheinungen bei Schwingungen mit einem Freiheitsgrade und bei Koppelschwingungen. Dem beschränkten Raum Rechnung tragend, verliert sich der Verfasser nicht in Einzelheiten, sondern beschränkt sich auf das Prinzipielle. An einer reichhaltigen Reihe von Beispielen, die, dem Arbeitsgebiet des Autors entsprechend, der reinen und angewandten Mechanik, Akustik und Elektrizitätslehre entnommen sind, werden die wichtigsten Erscheinungen und ihre mathematische Behandlung erläutert (hier wie auch im Beitrage von H. Schmidt, wären vielleicht auch einige Beispiele aus der modernen Atom- und Molekülphysik am Platze gewesen).

Das erste Kapitel enthält die Kinematik der Schwingungen und behandelt u. a. eingehend die Fourier-Zerlegung (Theorie und einige praktische Analysen-Verfahren). Die nächsten Kapitel sind den quasielastischen und quasistationären Schwingungen, der Erzeugung von Schwingungen und ihren Stabilitätsbedingungen gewidmet; besonders betont ist hier die Analogie zwischen mechanischen

und elektrischen Schwingungen. Die letzten drei Kapitel geben sich ab mit nichtharmonischen, Koppel-, Ober- und Unterschwingungen.

Im zweiten Beitrage befaßt sich H. Schmidt mit den Schwingungen kontinuierlicher Systeme und den Wellenvorgängen. Auch in diesem Aufsatze legt der Verfasser, der ja als ein Spezialist auf diesem Gebiete bekannt ist, das Hauptgewicht auf die Anwendungen der mathematischen Methoden auf (experimentell bearbeitete) Beispiele aus der Technik, der Mechanik, der Akustik und der Geophysik (2. Kap.: eindimensionale Probleme, 3. bzw. 4. Kap.: zwei- bzw. dreidimensionale Probleme). Die mathematischen Methoden selber sind im ersten Kapitel kurz, aber doch sehr klar und übersichtlich zusammengestellt.

Beide Beiträge sind leicht lesbar geschrieben und gut illustriert und werden durch die große Zahl von Beispielen und die ausführlichen Anleitungen zur mathematischen Behandlung solcher Probleme gerade dem Experimentalphysiker willkommen sein.

Nicht in direktem Zusammenhange mit den beiden ersten Aufsätzen steht der dritte Aufsatz über Ultraschall von E. Großmann (auch einzeln käuflich). Es bedeutet eine wertvolle Bereicherung des Handbuches, daß dieses in der letzten Zeit an Bedeutung immer mehr zunehmende Gebiet noch mit aufgenommen werden konnte, um so mehr, als eine zusammenfassende Darstellung der hierhergehörigen Erscheinungen bis jetzt noch nicht existierte. Der Beitrag, dessen Verfasser selber zur Entwicklung der Ultraschallmessungen wertvoll beigetragen hat, ist sehr vollständig und vermag ein gutes Bild zu vermitteln von der Bedeutung der Ultraschallphänomene für die verschiedensten Gebiete der Physik: Technik (Schallot), Optik (Gitterwirkung usw.), Akustik (Fortpflanzung des Schalles usw.), Molekularphysik (Einstelldauer von Molekülschwingungen). Das letzte Kapitel gibt eine Zusammenstellung der noch recht wenig geklärten chemischen und biologischen Einwirkungen des Ultraschalls. H. S.

Hand- und Jahrbuch der chemischen Physik. Herausgegeben von A. Eucken und K. L. Wolf. Band 6, Abschnitt I B: O. Fuchs und K. L. Wolf. Dielektrische Polarisation. Gr.-8°. Mit 63 Abb. XX und 236 und 36 Tabellen. Leipzig 1935. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. Brosch. RM 27.—.

Nachdem die Verfasser im ersten Kapitel des Buches den Leser in die theoretischen und experimentellen Grundlagen der Dipoltheorie eingeführt haben — es werden die Begriffe Molekularpolarisation und Molekularrefraktion erklärt, die Fragen des inneren Feldes erörtert, allgemeine Betrachtungen über das Potential eines Moleküls angestellt und schließlich einige DK.-Meßmethoden besprochen —, erfolgt im ersten Teil des zweiten Kapitels die eingehende Einführung in die Theorie der Dielektrika. Zunächst wird das Verhalten des Moleküls im inhomogenen Feld (Molekularstrahl) besprochen, dann die Debyesche Dipoltheorie in klassischer Form. Es bietet sich dabei Gelegenheit, auf einige wichtige speziellere Fragen zu kommen: auf die des Ultrarotgliedes und die des freien Moleküls in Lösungen. Nach anschließender Behandlung der Quantentheorie der Molekularpolarisation erfolgt noch eine kurze Einführung in die Dispersionserscheinungen und in die Theorie der dielektrischen Verluste.

Im nächsten Abschnitt des Buches findet der Leser eine ausgezeichnete Behandlung des gesamten experimentellen Materials. Es werden die Fragen der Vektoraddition, des Bindungs- und Gruppenmomentes, der innermolekularen Induktion, der Valenzwinkel und der freien Drehbarkeit erörtert. Bei der Behandlung der Valenzwinkel wird jedoch die quantenmechanische Deutung der Winkelung (Hund, Pauling-Slater) an bestimmten Atomen, der gegenüber die Hundsche Polarisierbarkeitstheorie nur eine Korrektion bedeuten dürfte, nicht erwähnt.

In einem weiteren Kapitel werden nochmals die für Flüssigkeiten wichtigen Begriffe des inneren Feldes, der zwischenmolekularen Kräfte, der verdünnten Lösungen und vor allem der Assoziationserscheinungen besprochen. Hier vermißt der Referent allerdings die Überlegungen über die (Assoziations-)Verhältnisse in flüssigen Substanzen aus den van Arkelschen und ähnlichen Arbeiten. Das Buch schließt mit einigen Betrachtungen über dielektrische Eigenschaften fester Körper und der Erwähnung von Sättigungserscheinungen.

Das Buch betrachtet die dielektrischen Erscheinungen vom Standpunkte des Physikochemikers aus. Es gibt ein sehr gutes Bild, was eigentlich die Theorie der molekularen Dipole für die Strukturchemie geleistet hat und noch leisten kann. Dabei werden auch durch die Diskussion solcher Dinge wie Lösungsmitteleinfluß und Ultrarotglied die Grenzen der Leistungsfähigkeit dieser Methode für die Erforschung der Struktur der Materie gezeigt. — Die beiden erwähnten Dinge, insbesondere die Frage des Ultrarotgliedes, sind jedoch, glaube ich, in bezug auf ihre fälschenden Einflüsse auch hier wieder etwas zu mild beurteilt worden. — Andererseits findet man — und das ist dem Referenten besonders angenehm aufgefallen — überall Querverbindungen zu angrenzenden Gebieten der Wissenschaft hergestellt, etwa durch Hinweise, wie sich Lösungswärme, Oberflächenspannung usw. im Hinblick auf die polaren Eigenschaften verhalten sollten. Die Ableitung theoretischer Formeln ist dagegen nicht immer ganz so ausführlich, wie man es auf Grund des leichteren Erkennens der tieferen Zusammenhänge wünschen möchte.

Eine sorgfältige Zusammenstellung aller bisher gemessener Momente mit ausführlichem Literaturverzeichnis ergänzt dieses empfehlenswerte Werk, das einem aufmerksamen Leser in vielen Hinsichten Anregungen zu weiterer Forschung zu geben vermag. F. H. Müller.

Handwörterbuch der Naturwissenschaften. Herausgegeben von R. Dittler, G. Joos, E. Korschelt, G. Linck, F. Oltmanns und K. Schaum.

2. Aufl. Bd. V. VIII und 1286 S. Mit 963 Abbildungen. 1934. Brosch. RM 60.—, geb. RM 67.—.

2. Aufl. Bd. X. Transplantation bei Tieren — Zwillinge und Sachregister A—Z und Systematischer Inhaltsübersicht. VIII und 1090 und 242 S. Mit 896 Abb. Jena 1935. Gustav Fischer. Brosch. RM 66.—, in Halbleder RM 73.—.

Mit dem in letzter Zeit erschienenen 5. und 10. Bande sowie dem Sachregister liegt nunmehr die neue (zweite) Auflage des Handwörterbuches der Naturwissenschaften vollständig vor. In zehn

stattlichen Bänden von je über 1000 Seiten ist das gesamte Gebiet der Naturwissenschaften: Physik, Chemie, Biologie, Physiologie, Botanik, Zoologie, Mineralogie, aufgeteilt in eine größere Reihe Spezialaufsätze, behandelt. Zahlreiche kurze Biographien rufen das Leben und Wirken der bedeutendsten Naturforscher wieder wach. Ein ausgezeichnetes Sachregister erlaubt ein leichtes und rasches Auffinden des Gesuchten. Eine systematische Inhaltsübersicht orientiert über die Unterteilung der größeren Gebiete in die einzelnen Beiträge. Die große Zahl von Mitarbeitern, alle bekannte Vertreter ihres Spezialgebietes, gewährleistet eine vollständige und zuverlässige Behandlung der einzelnen Fragen; zahlreiche Literaturzitate weisen den Weg zum tieferen Eindringen in die betreffende Materie.

Dank der Mühe, die sich die Mitarbeiter gegeben haben, ihr Gebiet in einer dem Nachbarwissenschaftler verständlichen und nützlichen Weise (d. h. in möglichst knapper und doch präziser Form) darzustellen, dank der großen organisatorischen Leistungen der Herausgeber und dank der vorzüglichen Ausstattung der Bände durch den Verlag, ist hier ein Werk entstanden, das einzigartig in seiner Art ist: ein modernstes Nachschlagewerk der gesamten Naturwissenschaften, verständlich für jeden, der die elementarsten Begriffe schon kennt, unentbehrlich für alle, die, aus Zwang oder aus Liebhaberei, das Bedürfnis haben, sich schnell und doch exakt über Teilgebiete zu orientieren. Und je mehr die Spezialisierung der Wissenschaft mit der Zeit fortschreitet, desto größer wird dieses Bedürfnis nach einem solchen Standardwerke, um so dringender seine Notwendigkeit werden. Es ist nur zu wünschen, daß die Mühe und Arbeit der Herausgeber und Mitarbeiter durch eine weite Verbreitung des Werkes belohnt werde. H. S.

Tables Annuelles de Constantes et Données Numériques. Extrait du Volume X (1930): Données Numériques de Spectroscopie. Paris 1934. Gauthier-Villars.

Vom X. Bande des bekannten französischen Tabellenwerkes, der die Zahlenangaben des Jahres 1930 wiedergeben soll, ist bis jetzt erst ein Teil erschienen, nämlich der Teilband: Spektroskopie (Emissionsspektren von Brüninghaus, Absorptionsspektren von V. Henri, Elektro- und Magneto-Optik von Wolfers, Lichtstreuung [Ramaneffekt usw.] von Auger). Es ist zu begrüßen, daß der Verlag die verschiedenen Teilbände einzeln und gleich nach ihrer Fertigstellung herausgibt, ohne zu warten, bis der ganze Band fertig vorliegt. Leider wird aber auch durch dieses Mittel die sehr starke Verzögerung der Herausgabe der Bände nicht wesentlich vermindert. Die Hoffnung auf ein rasches Nachholen der früheren Jahre, die das rasche Erscheinen des IX. Bandes erweckt hatte, ist nicht verwirklicht worden, und die „Relaxationszeit" des neuen Bandes hat sich eher vergrößert denn vermindert. Es ist dies um so mehr zu bedauern, als ein großer Teil des Nutzens dieses sonst sehr vollständigen und mit viel Sorgfalt zusammengestellten Tabellenwerkes verlorengeht. Andererseits darf man natürlich auch nicht vergessen, daß in den heutigen Krisenzeiten die finanzielle Belastung eines solchen Unternehmens besonders schwer wiegt.

Die Anordnung der Materie im vorliegenden Bande ist gegenüber der im vorhergehenden (vgl. diese Zeitschrift **34**, 424, 1933) nicht wesentlich geändert. Speziell im Kapitel „Ramaneffekt" wäre eine andere Anordnung der Substanzen, z. B. nach dem System der Critical Tables, recht nützlich. H. S.

Vorlesungsverzeichnis für das Winterhalbjahr 1935/36.

Technische Hochschule Aachen. **Starke:** Experimentalphysik I, 4; Übungen im physikalischen Laboratorium, 4 und 2, für Vorgeschrittene, 4; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Seitz), nach Vereinbarung. — **Seitz:** Theorie der Elektrizität, 3, Übungen, 1; Experimentalphysik, enzyklopädischer Kurs, 2; Übungen im physikalischen Praktikum, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl. — **Kirschbaum:** Ausgewählte Kapitel der Physik: Röntgenspektroskopie, 1, Übungen und Ergänzungen, 1; Ausgewählte Kapitel der Photographie, 1, Übungen, 2. — **Fucks:** Quantenmechanik, 2; Ausgewählte Kapitel aus der klassischen theoretischen Physik, 2. — **N. N.:** Allgemeine Meteorologie, 2. —

Universität Basel. **Hagenbach:** Experimentalphysik II, 6; Physikalisches Praktikum für Vorgerücktere, tägl., für Anfänger, 8; Physikalisches Kolloquium (mit Zickendraht und Wehrli), 14tägig, 2 g. — **Matthies:** Analytische Mechanik, 4, Übungen, 1; Potentialtheorie, 2, Übungen, 1; Mathematisch-physikalisches Proseminar, 1; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, 1. — **Zickendraht:** Wechselströme I, Nieder- und Mittelfrequenz, 2, Praktikum, 3; Repetitorium der Elektrizitätslehre, 1. — **Zehnder:** Geschichte der Physik, 1; Aufbau des Weltalls auf tiefsten Grundlagen, 1. — **Wehrli:** Vakuumpraktikum, 2. — **Miescher:** Experimentelle Spektroskopie und ihre Anwendungen, 2. —

Universität Berlin. **Wehnelt:** Experimentalphysik I, 4; Physikalisches Anfängerpraktikum, 7, Ergänzungen, nach Vereinbarung, g; Praktikum zur Erlangung von Handfertigkeit für das naturwissenschaftliche Arbeiten, 3; Physikalische Forschungsarbeiten (mit Schumann, Czerny, Hettner und Orthmann), tägl.; Experimentell-physikalische Arbeiten (mit Schumann und Becker), tägl.; Besprechung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Czerny, Hettner und Orthmann), nach Vereinbarung, g. — **Orthmann:** Einführung in die Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum für Pharmazeuten, 3; Experimentell-physikalisches Proseminar, 2. — **Gehrcke:** Ausgewählte Kapitel aus der Optik, mit Demonstrationen, 1. — **Schüler:** Einführung in die Atomphysik, 1; Atomphysikalische Forschungsarbeiten, tägl. — **Philipp:** Einführung in die Physik des Atomkerns, 1. — **Beutler:** Aufbau der Materie, 1. —

Kolhörster: Höhenstrahlung, 1; Physik der Atmosphäre, 1; Arbeiten über Höhenstrahlung für Fortgeschrittene, tägl. — **Grotrian:** Physik der Sonne, mit Lichtbildern, 2; Spektroskopisches Praktikum (mit Schüler), 4; Spektroskopische Forschungsarbeiten, tägl. — **Trendelenburg:** Elektrische Schwingungen, 1. — **Kiebitz:** Ausgewählte Kapitel aus der Theorie der elektrischen Wellen, 1. — **Skaupy:** Technische Anwendungen der elektrischen Entladungen II, 1. — **Becker:** Ausgewählte Kapitel der Wehrtechnik, 1 g. — **Schumann:** Wehrphysik, Seminaristische Übungen, 2; Theoretisch-physikalische und ballistische Arbeiten, tägl.; Experimentalakustik, 1. — **Schreiber:** Physikalisch-technische Grundlagen und Methoden der Elektromedizin, 1 g; Praktikum für Strahlenmessung: Licht, Röntgen, Radium (mit Friedrich), nach Vereinbarung. — **Czerny:** Physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene, 8. — **v. Laue:** Physikalisches Kolloquium, 2 g; Physikalisches Seminar (mit Hettner), $1^1/_2$. — **Hettner:** Mechanik der Massenpunkte und starren Körper, 4; Theoretisch-physikalische Übungen, 1. — **Möglich:** Quantentheorie, mit Übungen, 6; Theoretisch-physikalisches Proseminar, 2. — **Henning:** Einführung in die Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 2. — **Eggert:** Grundlagen und Anwendungen der Photographie: Wissenschaftliche Farben- und Röntgenphotographie, Kinematographie einschließlich Tonfilm, Reproduktionstechnik, $1^1/_2$. — **Beck:** Photographisches Praktikum, für Anfänger und Fortgeschrittene, 2. — **v. Ficker:** Dynamik der Atmosphäre, 3; Meteorologische Übungen, 1; Meteorologisches Kolloquium (mit Defant), 2 g. — **Kähler:** Einführung in die Wolken- und Gewitterkunde, mit Lichtbildern, 1; Übungen aus dem Gebiete der Meteorologie, atmosphärischen Elektrizität und Strahlung, 2, für Fortgeschrittene, tägl. — **Knoch:** Klimazonen der Erde, 1; Praktikum zur Verwertung meteorologischen Beobachtungsmaterials, 2. — **Bartels:** Mathematisch-statistische Bearbeitung geophysikalischer und meteorologischer Beobachtungen, 1. — **Kölzer:** Geschichte des Wetterdienstes und meteorologische Erfahrungen des Weltkrieges, mit Lichtbildern, 1. — **Robitzsch:** Probleme der Aerologie, 1; Leitung eigener Arbeiten, tägl. außer Sonnabend, g. — **ten Bruggencate:** Moderne Probleme der Astrophysik, 1. —

Technische Hochschule Berlin. **N. N.:** Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen für Fortgeschrittene (mit Kopfermann), 16; Praktische Arbeiten im Physikalischen Institut, tägl. — **Westphal:** Physikalische Übungen, 4, für Physiker, 4. Ergänzungen, 2 g; Elementare Einführung in Fragen der neueren Physik, nach Vereinbarung. — **R. Becker:** Optik aller Wellenlängen, 1, Übungen, 2; Mechanik I, 3, Übungen, 2; Seminar über neuere theoretische Physik, 2 g; Kolloquium über neue Probleme der Physik und Chemie (mit Volmer), 14tägig, 2 g; Kolloquium über Probleme der technischen Physik (mit Cranz, Engl, Gehrts, Leithäuser, Seegert, Schachenmeier, H. Schulz, Volmer und Weidert), 14tägig, 2 g. — **Cranz:** Physikalisch-technische Laboratoriumsarbeiten, halbtägig; Ausgewählte Kapitel aus der technischen Physik, 2; Übungen zur technischen Physik, nach Vereinbarung; Seminar für technische Physik, 14tägig, 2 g. — **Schmidt:** Die Messung hoher Temperaturen, nach Verabredung. — **Ramsauer:** Physikalisch-technische Arbeiten, nach Vereinbarung. — **Wallot:** Theorie der Röhrenschaltungen I, 1. — **Gehrts:** Wirkungsweise, Bau und Berechnung von Elektronenröhren I, 2, II, 2; Schwingungserzeugung durch Röhren: kurze Wellen, Dezimeterwellen, 2. — **Korn:** Bildtelegraphie und Fernsehen, 1. — **Schachenmeier:** Ausgewählte Probleme der theoretischen Physik, 1. — **Kopfermann:** Physik der Röntgenstrahlen, 1. — **Frerichs:** Einführung in die Theorie der Gasentladungen, 1. — **Engl:** Gasentladung in der Technik, 1; Anleitung zu selbständigen physikalischen Arbeiten, ganztägig. — **Weidert:** Geometrische Optik I, 2, Übungen, nach Verabredung; Seminar für optisches Rechnen I und II, 2; Theorie und Wirkungsweise der optischen Instrumente I und II, 4, Übungen im Gebrauch optischer Instrumente I und II, 4; Optische Laboratoriumsarbeiten für Fortgeschrittene, tägl.; Lichtkundliche Übungen: Lichttechnik, optische Instrumente, Photographie (mit Arndt und Stenger), 2; Kolloquium über neuere Probleme der technischen Optik (mit Picht), 14tägig, $1^1/_2$. — **H. Schulz:** Einführung in die physiologische Optik, 2. — **Seegert:** Fernrohre und Prismensysteme, 1. — **Picht:** Das photographische Objektiv, 1; Theorie der physikalischen Optik, 4, Übungen, 1. — **Jung:** Einführung in die Geophysik: Erdbeben, Aufbau der Erde, magnetisches und elektrisches Feld der Erde, 2; Geophysikalische Übungen, 14tägig, 2; Geophysikalisches Kolloquium (mit Reich), 14tägig, 2. — **Kaßner:** Die Niederschläge als Grundlage von Wasserwirtschaft und Wasserbau, 1; Das Wetter in der Technik (Technische Meteorologie), 1. —

Universität Bern. **Greinacher:** Experimentalphysik: Wärme, Elektrizität, Magnetismus, 5, Ergänzungen, 1; Repetitorium der Physik, 1; Physikalisches Kolloquium (mit Gruner), nach Vereinbarung, g; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Vorgerücktere, 3 halbe Tage; Physikalisches Vollpraktikum, tägl. — **Gruner:** Elektrodynamik, 4; Quantenmechanik, 2; Mechanik deformierbarer Körper, 2; Seminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Koestler:** Einführung in die mathematische Behandlung naturwissenschaftlicher Probleme, 1–2; Theorie der elektromagnetischen Schwingungen, 1–2; Einführung in die theoretische Mechanik, 1–2; Die graphischen Rechnungsmethoden des Naturwissenschaftlers, 1–2. — **König:** Temperaturmessung, mit Demonstrationen, 1. —

Technische Hochschule Braunschweig. **Diesselhorst:** Experimentalphysik I: Elektrizität und Magnetismus, 4; Vektorrechnung, mit Anwendungen, insbesondere aus der Mechanik, 1; Ausgewählte Abschnitte aus der theoretischen Physik, 2; Physikalisches Praktikum I und II, 6; Physikalisches Kolloquium (mit Lübcke), 14tägig, 2 g. — **Koppe:** Flug und Landung im Nebel, 1; Wettervorhersage, 1; Übungen in Luftfahrtmeßtechnik, 2; Übungen in Flugmeteorologie, 2; Kolloquium über Fragen des praktischen Luftverkehrs, 2 g. — **Bergwitz:** Elektrische Leitung in Gasen, 2; Physik der Röntgenstrahlen, 1; Elektronisch-radiologisches Praktikum, 1 Nachmittag. — **Hübner:** Reflexion, Absorption und Dispersion, 2, Übungen, 1. — **Lübcke:** Technische Elektronik I: Ventile und Gleichrichter, 14tägig, 2, Übungen, 14tägig, 2. —

Universität Breslau. **Schaefer:** Elementare Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, Elektrizität, Optik, 6; Physikalisches Kolloquium

(mit Fues, Steubing, Waetzmann), 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Bergmann und Matossi), 3 oder 6, für Mediziner, Pharmazeuten und Landwirte (mit Bergmann und Matossi), 3, für Fortgeschrittene (mit Steubing, Bergmann und Matossi), tägl. — **Steubing:** Röntgenstrahlen und ihre Anwendungen, 2; Seminaristisch-didaktische Übungen (mit Groß), 2; Übungen in der Ausführung physikalischer Experimente im Schulunterricht: Magnetismus, Elektrizität, Optik (mit Groß), 2; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Bergmann:** Elektrische Wellen: Theorie, Erzeugung und Ausbreitung mit Versuchen, 2; Hochfrequenzpraktikum, 2. — **Matossi:** Einführung in die Physik der Atomkerne, mit seminaristischen Übungen, 3. — **Groß:** Schulphysik II: Ausgewählte Kapitel aus Magnetismus, Elektrizität, Optik, 1; Großtaten deutscher Technik, mit Experimenten und Besichtigungen, 3. — **Fues:** Mechanik der Punktsysteme und starren Körper, 4. Übungen, 3. — **Ludloff:** Theoretische Optik, mit Übungen, 4. — **Jüttner:** Relativistische Physik, 2. —

Technische Hochschule Brünn. **Lohr:** Allgemeine und technische Physik: Elektromagnetische Erscheinungen und Optik, $3^1/_2$; Technische Physik II: Elektromagnetische Erscheinungen, 3; Physikalisches Praktikum, 4; Physikalisches Kolloquium, 1. — **Schoklitsch:** Meteorologie und Klimatologie, 3. —

Bergakademie Clausthal. **Valentiner:** Experimentalphysik I: Mechanik, Elektrizität und Magnetismus, 4; Physikalische Grundlagen der Wärmetechnik, 2 *g*; Physikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisch-mathematisches Kolloquium (mit König), 2 *g*. — **Rössiger:** Einführung in die Geophysik, mit Übungen, 2; Ausgewählte Kapitel der Geophysik: Das Schwerefeld der Erde, 1 *g*; Ausgewählte Kapitel der angewandten Physik: Ultraschall, Ultrakurzwellen, Fernsehen, Tonfilm, 1 *g*. —

Technische Hochschule Darmstadt. **Rau:** Experimentalphysik: Mechanik der festen, flüssigen und gasförmigen Körper, Wärme, Schwingungslehre, einschließlich Akustik, Geometrische Optik, Farbenlehre, Wellenlehre des Lichtes, 5; Physikalische Übungen, 3 Nachmittage, für Fortgeschrittene, 2 Tage; Physikalisches Seminar, 1; Selbständige Arbeiten aus dem Gebiete der Physik, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Vieweg), 1 *g*; Werkstattkurs, 3. — **Vieweg:** Technische Physik einschließlich physikalische Meßstunde: Ausgewählte Kapitel aus Wärmelehre und Optik, 3; Physik der Kunststoffe, 1; Übungen in technischer Physik, 6; Arbeiten in technischer Physik für Fortgeschrittene, 12; Selbständige Arbeiten in technischer Physik, tägl.; Seminar über Fragen in technischer Physik, 1. — **N. N.:** Elektrodynamik, 3, Übungen, 2, Ergänzungen, 1: Besselsche und verwandte Funktionen in Physik und Technik, 2, Übungen, 1; Ausgewählte Fragen der Quantentheorie, 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten. — **Knipping:** Einführung in das Gebiet der Röntgenstrahlen, 2, Übungen, 1; Röntgenseminar, 1 *g*; Röntgenpraktikum für Anfänger, 3—4, für Fortgeschrittene, 6—8; Selbständige Arbeiten auf dem Röntgengebiet, tägl. — **Reutlinger:** Geophysik I: Schweremessung, Seismik, 1, Übungen, 1; Meßmethoden und Meßgeräte der praktischen Geophysik, 2; Meßmethoden und Meßgeräte zur Messung mechanischer Schwingungen, 3; Übungen in mechanischer Schwingungsmeßtechnik, 3; Selbständige Arbeiten in Schwingungsmeßtechnik, nach Vereinbarung; Apparatebau: Bauelemente der feinmechanischen Konstruktion, 1, Übungen, 1; Kolloquium in mechanischer Schwingungsmeßtechnik, 1 *g*. — **Georgii:** Allgemeine Klimatologie, 2; Allgemeine Meteorologie, 2; Theoretische Meteorologie, 1; Flugmeteorologisches Kolloquium, 2; Flugmeteorologisches Praktikum, Meßflüge, wetterkundliche Übungen, 2; Wetterdienstübungen, 4. — **Bramesfeld:** Maschinenzeichnen für Flugmeteorologen, 2, Übungen, 2. —

Universität Frankfurt a. M. **Meissner:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4, Übungen, 1; Ionenlehre, 1; Höhere Experimentalphysik: Elektrizität und Atomphysik, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Madelung), 14tägig, 2; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4, für Mediziner und Pharmazeuten, 2, für Fortgeschrittene, halbtägig, außer Sonnabend; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, tägl. — **Madelung:** Elektrodynamik, 4, Übungen, 1; Spezielle Probleme der Quantentheorie, 1; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten, ganztägig. — **Seddig:** Physik der Nachrichtenmittel I, 2; Praktikum der angewandten Physik, 3; Kleines elektrotechnisches Praktikum, 3 und 6; Großes elektrotechnisches Praktikum, 5 halbe Tage; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten: Angewandte Physik, ganztägig; Kolloquium über angewandte Physik, 14tägig, 2; Photographisches Praktikum, 8. — **Gramberg:** Ausgewählte Kapitel aus der praktischen Physik, Statik von Bauwerken, Hydrodynamik der Lagerreibung, Thermodynamik der Maschinen u. a., nach Vereinbarung. — **Rajewsky:** Radioaktivität und ihre medizinischen Anwendungen, 2; Kolloquium über medizinische Physik und Biophysik (mit Wilhelmy), 2; Selbständige wissenschaftliche Arbeiten für Fortgeschrittene, ganz- und halbtägig; Radiologisches Praktikum (mit Wilhelmy), 14tägig, 3; Biophysikalisches Seminar, 14tägig, 2. — **Wilhelmy:** Elementare Bausteine der Materie: Elektronen, Neutronen, 1, Ergänzungen, 1; Die physikalischen Grundlagen der Röntgendiagnostik, 1. — **Linke:** Allgemeine Meteorologie, 3; Meteorologisch-geophysikalisches Kolloquium (mit Baur und Mügge), 1; Leitung selbständiger Arbeiten, halbtägig; Ausgewählte Kapitel der kosmischen Physik, 1. — **Baur:** Großwetterforschung, 1. — **Mügge:** Einführung in die dynamische Meteorologie, 3, Besprechung, 1; Wetterbesprechungen, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, halbtägig. —

Bergakademie Freiberg. **Aeckerlein:** Experimentalphysik, 4; Physikalische Übungen, 2. — **Lorenser:** Angewandte Geophysik, 1, Übungen, 1. —

Universität Freiburg i. Br. **N. N.:** Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 4, Praktikum, 2; Physikalische Übungen für Naturwissenschaftler, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Kast:** Experimentalphysik IIIa: Optik aller Wellenlängen, 3; Praktikum für Fortgeschrittene, 6; Handfertigkeitsübungen, 4. — **Koenigsberger:** Theorie des elektromagnetischen Feldes, 4; Elemente der Optik, 2 *g*; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Klumb:** Technische Physik: Elektrizität, Wechselströme und Schwingungen, 3; Die Physik des Hochvakuums, 1; Physikalisches und physikalisch-chemisches Proseminar

(mit Böhm), 1. — **Hammer:** Elektrizität in Gasen: Entladungen und Strahlen, 1 *g*. —

Universität Freiburg (Schweiz). Schmid: Experimentalphysik, 5, Ergänzungen, 1, Repetitorium, 1; Methodik des physikalischen Unterrichts, mit Übungen im Schulversuch, 3; Physikalisches Praktikum für Mediziner, 3, für Pharmazeuten, 4; Anfängerpraktikum für Naturwissenschaftler, 12; Physikalisches Praktikum und Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Huber:** Mathematische Physik: Elektrizität, Magnetismus, Licht, 4. — **Brasey:** Wechselströme und elektrische Oszillationen, 3. —

Universität Göttingen. **Pohl:** Experimentalphysik III: Elektrizität und Optik, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Joos und Reich), 2 *g*. — **Hilsch:** Experimentalphysik IV: Elektrizität und Optik, 2. — **Joos:** Der metallische Zustand, 2; Physikalisches Praktikum, 12, Erläuterungen, 1 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Cario:** Ausgewählte Kapitel der Optik, mit Experimenten, 1; Physikalisches Seminar, 2. — **Sauter:** Theoretische Physik IV: Atomphysik und Quantentheorie, 4, Übungen, 2; Differentialgleichungen der theoretischen Physik, spezielle Funktionen (mit Ullrich), 4; Theoretisch-physikalisches Seminar, nach Vereinbarung, *g*. — **Mannkopff:** Atomspektren und Atombau, 1. — **Reich:** Neueste Fortschritte der Elektrophysik, mit Experimenten, 2; Elektrophysikalisches Praktikum, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Prandtl:** Einführung in die Thermodynamik, 4; Besprechung von Fragen der angewandten Mechanik (mit Betz, Schuler und Flügge), 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der angewandten Mechanik, besonders Hydrodynamik und Aerodynamik, tägl. — **Betz:** Flugmechanik mit Übungen, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Schuler:** Mechanik, 4, Übungen, 2; Mechanik-Praktikum, 8; Seminar über Fragen der Mechanik, 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Flügge:** Knicken, Kippen, Ausbeulen, 2. — **Kyropoulos:** Molekularkräfte und ihre Anwendungen, 2. — **Küstner:** Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten auf dem Gebiet der Röntgenphysik, tägl. *g*. — **Angenheister:** Angewandte Geophysik: Geophysikalische Reichsaufnahme, 1; Meteorologie II: Dynamik der Atmosphäre, 1 *g*; Kolloquium, meteorologisch und geophysikalisch, 2 *g*; Geophysikalisches Praktikum (mit Jung), $3^1/_2$ *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. *g*. — **Jung:** Rechnerische und graphische Methoden in der Geophysik und Meteorologie, 2. —

Universität Graz. **Benndorf:** Experimentalphysik, Wärmelehre, 3; Physikalisches Seminar: Lösung physikalischer Aufgaben, 2; Physikalische Übungen für Anfänger I (mit Rumpf), 4, II (mit Székely), 6; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Absolventen der Anfängerübungen, tägl. außer Sonnabend; Besprechung physikalischer Fragen (mit Rumpf und Székely), 2. — **Rumpf:** Experimentalphysik I: Mechanik, Wärme, Optik, 5; Mathematische Ergänzungen, 1. — **Rosenberg:** Übungen in der Anstellung physikalischer Schulversuche, 3. — **Székely:** Drahtlose Telegraphie und Telephonie, 2. — **Wegener:** Physik der Atmosphäre, 3; Allgemeine Meteorologie, 3. —

Technische Hochschule Graz. **Kohlrausch:** Physik I: Optik, 4, II: Wärmelehre, 4, IV: Aufbau der Materie, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten der chemischen Physik, 20; Physikalisches Praktikum, 2 und 6. —

Universität Greifswald. **Krüger:** Experimentalphysik II: Elektrizität und Optik, 4, Theoretische Ergänzungsstunde, 1; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 2; Anleitung zu selbständigen physikalischen Untersuchungen, tägl.; Besprechung neuerer physikalischer Arbeiten (Kolloquium [mit Reinkober]), $1^1/_2$ *g*. — **Seeliger:** Theoretische Physik II: Theorie der Elektrizität, 3, Übungen, 14tägig, 2; Seminar für Fortgeschrittene: Atomtheorie des Magnetismus, 14tägig, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten, tägl. — **Reinkober:** Die Physik des Atomkerns, 2; Physikalische Probleme im Heeresdienst, 1; Physikalische Meßeinheiten und Meßmethoden II: Elektrizität und Optik, 1; Physikalisches Handfertigkeitspraktikum, 3; Seminaristische Übungen zur Physik (mit Sommer), 2. — **Sommer:** Aerodynamik: Fluglehre, 2, Rechnerische Übungen, 1; Ausgewählte Kapitel aus der Nachrichtentechnik, 1; Praktikum der angewandten Elektrizitätslehre, 3. —

Universität Hamburg. **Koch:** Experimentalphysik I: Wärme, Elektrizität, 4; Physikalisches Praktikum (mit Goos, Meyer und Müller), 4; Anleitung zu wissenschaftlichen Untersuchungen (mit Tams, Goos und Meyer), tägl.; Physikalisches Kolloquium (mit Lenz, Möller und Harteck), 2. — **Lenz:** Quantentheorie III, 2; Statistische Wärmelehre mit Übungen, 3; Theoretisch-physikalisches Vortragseminar, 2. — **Harteck:** Einführung in die Atomphysik, nach Vereinbarung *g*. — **Goos:** Photometrie, 1. — **Knauer:** Eigenschaften verdünnter Gase und Hochvakuumtechnik, 1. — **Meyer:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der Röntgenstrahlen, mit praktischen Übungen, 2; Physikalisches Proseminar (mit Knauer), 2. — **Müller:** Anleitung zur Ausführung von physikalischen Schulversuchen, 2. — **Möller:** Wärmelehre, 2, Übungen, 1; Die Grundlagen der Fluglehre, 1; Elektrotechnisches Praktikum, 10; Physikalisch-technisches Praktikum, 5; Physikalisch-technisches Kolloquium (mit Hagen), 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Fortgeschrittener (mit Hagen), tägl. — **Kähler:** Potentialtheorie, Wellengleichung und Elektrodynamik, 4. — **Schott:** Geophysikalisches Kolloquium (mit Raethjen, Schulz, Tams und Kuhlbrodt), 14tägig, $1^1/_2$. — **Jensen:** Die Entwicklung der Sonnen- und Himmelsstrahlungsforschung seit Beginn des Jahrhunderts, 1. — **Tams:** Erdmagnetismus, 2; Seismische Übungen, 2; Seminar über die Physik der festen Erde, 14tägig, 2. — **Raethjen:** Allgemeine Meteorologie, 2; Meteorologisches Praktikum, 3; Besprechung meteorologischer Arbeiten, 2; Meteorologische Forschungsarbeiten, tägl.; Entwicklungsgeschichte der Luftfahrt und Flugtechnik, 14tägig, 1 *g*. — **Kuhlbrodt:** Maritime Meteorologie, 1; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten in der maritimen Meteorologie, nach Vereinbarung. —

Technische Hochschule Hannover. **Bartels:** Experimentalphysik, 4; Physikalisches Praktikum, 4 und 6; Arbeiten im Physikalischen Laboratorium für Fortgeschrittene, ganz- und halbtägig; Physikalisches Kolloquium (mit Hase und Schlomka),

2. — **Hase:** Temperaturmessung, 1; Technisch-physikalisches Praktikum, 2; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im Institut für technische Physik, nach Vereinbarung. — **N. N.:** Theoretische Physik, 3, Übungen, 2; Seminar über Fragen der theoretischen Physik, 2. — **Seilkopf:** Wetter und Wettervorhersage: Synoptische Meteorologie, 1, Übungen, 1. —

Universität Heidelberg. Becker: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3, Ergänzungen, mit Aussprache, 1; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler (mit Schmidt), 6, für Mediziner und Pharmazeuten, 3; Physikalisches Großpraktikum, tägl. außer Sonnabend; Selbständige physikalische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Theorie der Elektrizität und des Magnetismus, 3; Physikalisches Seminar und theoretisch-physikalische Übungen (mit Schmidt), $1^1/_2$ g. — **Schmidt:** Radiologie: Korpuskularstrahlung, 2; Selbständige physikalisch-technische Arbeiten, tägl. außer Sonnabend; Übungen in der Fernsprech- und Funktechnik (mit Wesch), 5 g. — **Wesch:** Funktechnik I, 1. — **Bothe:** Kolloquium über naturwissenschaftlich-medizinische Arbeiten (mit Krehl, Kuhn und Meyerhof), 14tägig, 1. — **Peppler:** Klimakunde: Die Klimata der Erde, 2; Meteorologische Übungen, Wetterdienst und Wettervorhersage, 2. — **Bohrmann:** Praktische Übungen zur Wetterkunde, nach Verabredung. —

Universität Innsbruck. Lerch: Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum (mit Tagger), 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, 10; Besprechung neuer physikalischer Arbeiten (mit Heß, March, Tagger), 1 g. — **Heß:** Mechanik und Molekularphysik, 5; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten Vorgeschrittener, 10. — **March:** Theorie der Wärme, 4; Einführung in die Relativitätstheorie, 1; Seminarübungen, 2. — **Sonvico:** Meßtechnik, mit Übungen, 2 g. — **Tagger:** Praktikum für Vorgeschrittene, 2. — **Wagner:** Einführung in die Geophysik, 5; Wissenschaftliche Arbeiten für Vorgeschrittene (mit Ekhart), 10; Geophysikalisches Vortragsseminar (mit Ekhart), 1. — **Ekhart:** Geophysikalische Meßtechnik, mit besonderer Berücksichtigung der meteorologischen Instrumente und Beobachtungen, 1. —

Universität Jena. N. N.: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 3; Physikalisches Praktikum (mit Hanle), für Mathematiker und Physiker, 6, für Chemiker und Pharmazeuten, 4, Kleines Praktikum, $2^1/_2$, für Fortgeschrittene, 10; Physikalisches Kolloquium (mit Esau), 2; Leitung selbständiger physikalischer Arbeiten (mit Straubel und Hanle), tägl. — **N. N.:** Theorie des Lichts, 3, Übungen (mit Wessel), 1; Atomistik der Elektrizität, 2; Molekelbau, für Fortgeschrittene (mit Wessel), 1 g; Physikalisches Proseminar (mit Hanle), 1; Anleitung zu selbständigen theoretisch-physikalischen Arbeiten, tägl. — **Bauersfeld:** Flugmechanik, 1. — **Hanle:** Experimentalphysik IV: Atomistik, 2; Gasentladungen und Röntgenstrahlen, 1; Handfertigkeitspraktikum, 3. — **Wessel:** Vektorrechnung mit Übungen, 2; Gittertheorie der Kristalle, 2. — **Esau:** Gleichstromtechnik, 3; Neuere Methoden der technischen Materialprüfung, 2; Technisch-physikalisches Praktikum, 3; Großes technisch-physikalisches Praktikum, tägl.; Technisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Kühl:** Spektralanalyse, 2; Einführung in die Konstruktion des photographischen Objektivs, 2; Optisches Praktikum, 4; Mikroskopisches Praktikum, 2; Optisches Seminar: Rechenübungen zur Konstruktion des Photo-Objektivs, 14tägig, 2 g; Leitung selbständiger Arbeiten, tägl.; Optisches Kolloquium, $1^1/_2$ g. — **Siedentopf:** Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie, 1. — **Rzymkowski:** Photographisches Praktikum II, für Fortgeschrittene, 3; Technik der Filmaufnahme für Lehr- und Forschungszwecke, 1 g. — **Köhler:** Projektion, 1. — **Sieberg:** Mechanik der Erdrinde in ihrer geologischen und wirtschaftlichen Bedeutung I, 1; Erdbebenkundliches Praktikum, g; Anleitung zu selbständigen erdbebenkundlichen Arbeiten, tägl. g; Erdbebenkundliches Kolloquium, nach Vereinbarung, g. — **Meisser:** Der geophysikalische Aufbau der Erde, 1; Theorie der Luftschallmessungen, 1; Geophysikalisches Praktikum (mit Müller): a) Einführung in die Instrumentenkunde der geophysikalischen Aufschließungsmethoden, 2 g, b) Allgemeine geophysikalische Untersuchungsmethoden, 2 g; Anleitung zu selbständigen geophysikalischen Untersuchungen, tägl. g. —

Technische Hochschule Karlsruhe. Bühl: Experimentalphysik I A, 3; Physikalisches Laboratorium, 6 und 3, für Vorgeschrittene, 6; Anleitung zu selbständigen Arbeiten im physikalischen Institut, nach Vereinbarung; Physikalisches Kolloquium (mit Weizel und Finkelnburg), 14tägig, 2 g. — **Weizel:** Theoretische Physik A: Thermodynamik und Statistik, 4; Spektroskopische Übungen, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar über Struktur der Materie (mit Finkelnburg), 14tägig, 2 g; Elektrophysik: Thermoelektrizität, Photoeffekt, Kerreffekt usw., 2. — **Pöschl:** Technische Mechanik III, 2, Übungen, 2, Seminar, 1; Einführung in die konforme Abbildung, mit besonderer Berücksichtigung der Strömungslehre und Elastizitätstheorie, 2, Übungen, 1. — **Peppler:** Allgemeine Meteorologie, 2; Klimatologie, Klimate der Erde, 2; Meteorologische Übungen, 2. — **Finkelnburg:** Moderne Gebiete der Physik: Röntgenstrahlen und Kristallstruktur, 2; Übungen zur Theoretischen Physik: Thermodynamik, 1. —

Universität Kiel. Rausch v. Traubenberg: Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 4, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, 8, für Fortgeschrittene, 8; Physikalisches Kolloquium (mit Unsöld und Martienssen), $1^1/_2$ g; Forschungsarbeiten, tägl. — **Unsöld:** Thermodynamik und kinetische Gastheorie, 4, Übungen, 1; Physikalisches Seminar (mit Eckardt), $1^1/_2$ g; Einführung in die Spektroskopie, 1. — **Martienssen:** Physikalische Grundlagen der Flugtechnik, 2. — **Schmidt:** Übungen im Schulexperimentieren für Lehramtskandidaten, 1. — **Baumann:** Praktische Physik der Atmosphäre I: Ausgewählte Kapitel unter besonderer Berücksichtigung der Aerologie, 2; Wetter und Wettervorhersage, 1. — **Pfleiderer:** Angewandte Meteorologie (mit Büttner), 1 g. — **Wolf:** Geschichte der Naturwissenschaften im Zeitalter der Aufklärung (mit Beurlen), 2; Naturphilosophie der Gegenwart (mit Beurlen und Hildebrandt), 14tägig, 2 g. — **Harder:** Die Haltung der beschreibenden Naturwissenschaft in der Geschichte: Antike und Neuzeit (mit Wasmund), 2. — **Stobbe:** Einführung in die wissenschaftliche Photographie, unter besonderer Berücksichtigung astronomischer Aufgaben, 1, Übungen, 2. —

Universität Köln. Kirchner: Experimentalphysik, 5, für Mediziner, 4; Physikalisches Praktikum (mit Hiedemann), 7, für Mediziner, 4; Anleitung zu selbständigen wissenschaftlichen Arbeiten (mit Falkenhagen und Hiedemann), tägl.; Physikalisches Seminar, 2 *g*; Kolloquium über neuere Arbeiten aus dem Gebiete der Physik (mit Försterling, Malsch, Lassen und Cremer), 2. — **Försterling:** Wellenmechanik, 4, Übungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten in theoretischer Physik (mit Malsch), tägl. — **Falkenhagen:** Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften I, 3, Übungen, 2; Ergänzungen zur mathematischen Physik: Quantenstatistik, Quantenmechanik unter besonderer Berücksichtigung der Kernphysik, 1. — **Malsch:** Experimentalphysik für Fortgeschrittene I, 2; Praktikum für Fortgeschrittene, 4. — **Hiedemann:** Ultraschall, 1. — **Lassen:** Wissenschaftliche Untersuchungen, tägl. —

Universität Königsberg. N. N.: Experimentalphysik II: Elektrizität und Magnetismus (z. T. mit Steinke und Stuart), 4; Anleitung zum selbständigen Arbeiten für Fortgeschrittene (mit Steinke), ganztägig *g*; Physikalisches Proseminar (mit Steinke), 14tägig, 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Gans, Kretschmann, Steinke und Stuart), 14tägig, 2; Physikalisches Praktikum für Studierende der Physik und Mathematik (mit Gans), 6 oder 3. — **Steinke:** Experimentalphysik II: Elektrizität, 2, Übungen, 2. — **Gans:** Atom- und Molekularphysik, 4; Selbständige Arbeiten in experimenteller und theoretischer Physik (mit Stuart), tägl. *g*; Übungen zur theoretischen Physik 1 *g*; Physikalisches Seminar (mit Kretschmann und Stuart), 14tägig, 2 *g*. — **Stuart:** Atom- und Kernphysik, 1; Übungen im Demonstrieren von physikalischen Versuchen, 1. — **Reichenbächer:** Relativitätstheorie, 2. — **Kretschmann:** Wärmelehre, 4, Übungen, 1 *g*. — **Errulat:** Geophysik: Massenverteilung und Schwere, 1; Meteorologie: Wettervorhersage, 1; Besprechung geophysikalischer und meteorologischer Arbeiten, 2 *g*; Geophysikalisches Praktikum, 1. —

Universität Leipzig. Debye: Experimentalphysik I: Mechanik, Akustik, Wärme, 5; Höhere Physik, 1; Physikalisches Praktikum, 3, 6 oder 9, für Fortgeschrittene, 9, für Mediziner, Veterinärmediziner, Zahnärzte und Pharmazeuten, 3; Seminar über die Arbeiten des Instituts, $1^1/_2$ *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Heisenberg), $1^1/_2$ *g*; Selbständige physikalische Arbeiten, 24 oder 44. — **Heisenberg:** Theorie des Atomkernes, 3; Seminar über die Struktur der Materie (mit Hund), 2 *g*; Selbständige theoretisch-physikalische Arbeiten (mit Hund). — **Hund:** Theoretische Physik IV: Optik, 3; Seminar über elementare theoretische Physik, 2 *g*. — **Schiller:** Hydro- und Aerodynamik, 2; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 9; Selbständige physikalische Arbeiten: Angewandte Mechanik und Thermodynamik, 24 oder 44; Seminar: Besprechung neuerer Arbeiten aus der Strömungslehre, 14tägig, 2 *g*. — **Karolus:** Hochfrequenztechnik, 2, Übungen, 3; Technisch-physikalisches Praktikum für Fortgeschrittene: Angewandte Elektrizitätslehre, 9; Selbständige physikalische Arbeiten: Angewandte Elektrizitätslehre, 24 oder 44. — **Möbius:** Röntgenstrahlen, 1. — **Kaempf:** Farbenphotographie, 1. — **Schmidt:** Mechanik der Kontinua, 2; Theorie der Schwingungen und Wellenvorgänge, 2. — **Weickmann:** Allgemeine Meteorologie II: Die Klimate der Erde, 2; Erdmagnetismus, Polarlicht, 2 *g*; Arbeiten im Geophysikalischen Institut und im Observatorium, tägl. *g*; Geophysikalisches Praktikum, 3; Geophysikalisches Kolloquium, 2 *g*. —

Universität Marburg. Grüneisen: Experimentalphysik I, 4, Theoretische Ergänzungen, 1 *g*; Physikalisches Kolloquium, 2 *g*; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Kneser und Vogt), 6, für Mediziner, 3, für Fortgeschrittene (mit Kneser und Vogt), 8, für Geübte: Leitung wissenschaftlicher Arbeiten (mit Schulze, Kneser und Vogt), ganztägig. — **Berek:** Einführung in die Lehre von der Abbildung und in die Wirkungsweise optischer Instrumente, 2. — **Schulze:** Strahlungs- und Quantentheorie, einschließlich Wellenmechanik, 4; Theorie der Wärme, 3; Übungen in theoretischer Physik, 1 *g*. — **Vogt:** Fluglehre und Ballistik, mit Versuchen, 2. — **Kneser:** Atomphysik II, 2; Seminar über ausgewählte Kapitel, 1. —

Universität Münster. Senftleben: Experimentalphysik: Elektrizität, Optik, Atomphysik, 5, für Mediziner, 3; Physikalisches Praktikum für Anfänger (mit Durau), 3 oder 6, für Mediziner, 3, für Fortgeschrittene, ganz- oder halbtägig; Physikalisches Seminar (mit Durau), 2 *g*; Physikalisches Kolloquium (mit Kratzer), 2 *g*. — **Kratzer:** Mechanik, 4, Übungen, 2; Relativitätstheorie, 4; Seminar über Atombau, 14tägig, 2 *g*; Übungen über Raum und Zeit (mit Scholz), 14tägig, 2 *g*. — **Durau:** Physik des Elektrons, 2. — **Siemens:** Angewandte Elektrizitätslehre, 2. —

Universität Prag. Fürth: Experimentalphysik I, 5, Ergänzungen, 2; Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler, 6, für Pharmazeuten 3; Grundlagen der geometrischen Optik und ihrer Anwendung auf die optischen Instrumente, 2; Physikalisches Kolloquium (mit Blüh und Glaser), 2 *g*; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten für Fortgeschrittene, tägl. *g*. — **Frank:** Theorie des Elektrons, 5; Seminar für theoretische Physik, 2; Kolloquium über die philosophischen Grundlagen der Naturwissenschaften (mit Carnap), 1 *g*. — **Blüh:** Einführung in die Physik für Pharmazeuten, 5; Elektrische Meßinstrumente, 2; Physikalisch-historische Lektüre, 2; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl. — **Glaser:** Einführung in die theoretische Physik I: Mechanik und Hydrodynamik, 5, Übungen, 2. — **Pollak:** Allgemeine Meteorologie und Klimatologie, 3; Theoretische Meteorologie und Hydrographie I, 2; Geophysikalisches Praktikum, 4; Übungen für Fortgeschrittene tägl. —

Technische Hochschule Prag. Tuma: Physik: Reine Mechanik, 5; Physikalisches Praktikum, 3 und 6; Technische Physik, 3; Physik für Architekten, 3. — **Lichtenecker:** Grundzüge der theoretischen Physik: Thermoionen, 2. — **Körner:** Wärmelehre der Gase, 2. —

Universität Rostock: N. N.: Experimentalphysik: Elektrizität, Wärme, 4; Physikalische Übungen, 8; Wissenschaftliche Arbeiten, tägl.; Physikalisches Seminar (Kolloquium) (mit

Jordan und Kunze), 14tägig, $1^1/_2$ g. — **Jordan:** Thermodynamik, mit Übungen, 4; Atomphysik, 2; Ballistisches und mathematisches Seminar. — **Falckenberg:** Allgemeine Meteorologie, 1; Meteorologisches Praktikum für Anfänger, 4, für Fortgeschrittene, tägl.; Meteorologisches Kolloquium 14tägig, 2 g. — **Kunze:** Forschungsergebnisse der modernen Physik, 1; Radioaktivität und Kernphysik, 1. —

Universität Wien. **Jäger:** Ausgewählte Kapitel der Physik, 3. — **Meyer:** Radioaktivität, 3; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener im Radiuminstitut, tägl.; Besprechung neuerer Arbeiten, 1 g. — **Ehrenhaft:** Experimentalphysik I, 5, Theoretische Ergänzungen, 1, Demonstrationsergänzungen, 1; Seminar, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Schweidler:** Experimentalphysik I, 5, Demonstrationsergänzung, 1; Mittelschul-Experimentier-Praktikum für Lehramtskandidaten, 6; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Thirring:** Theorie der Wärme, 5; Seminar für theoretische Physik, 1; Proseminar für theoretische Physik, nach Vereinbarung. — **Haschek:** Experimentalphysik I, 5; Physikalisches Praktikum, 6, für Vorgeschrittene, 10; Wissenschaftliche Arbeiten für Vorgeschrittene, tägl. — **Kottler:** Einführung in die theoretische Physik und ihre mathematischen Hilfsmittel I, 5. — **Przibram:** Physik I: Mechanik, 5. — **Kirsch:** Atombau II: Kernphysik, 3, Übungen, 1; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl.; Einführung in wissenschaftliche Arbeiten (mit Stetter), tägl. — **Stetter:** Physikalische Grundlagen und Anwendungen der Verstärkerröhre, 2; Wissenschaftliche Arbeiten Vorgeschrittener, tägl. — **Sirk:** Einführung in die mathematische Behandlung der Naturwissenschaften, 3, Übungen, 2. — **Flamm:** Partielle Differentialgleichungen der Physik I, 3, Rechenübungen, 1. — **Ettenreich:** Ausgewählte Kapitel aus dem Gebiete der Elektronenentladung und Hochfrequenztechnik, 1. — **Mattauch:** Isotopenforschung und Kernstruktur, 2. — **Sexl:** Wärmestrahlung, 1. — **Bauer:** Einführung in die Theorie der Atomspektren, das Bohrsche und das Schrödingersche Atommodell, 2; Wechselwirkung zwischen Licht und Materie, 1. — **Ortner:** Ausgewählte Kapitel aus der Röntgenphysik, 1. — **Seidl:** Ausgewählte Versuche der Physik und ihre Theorie, 2. — **Schmidt:** Dynamische Meteorologie, 3; Anleitung zu wissenschaftlichen Arbeiten, tägl.; Meteorologie für Flieger, mit Experimenten, 4 g; Besprechungen neuerer meteorologischer Literatur (mit Conrad und Schedler), 2 g. — **Conrad:** Klima der Tropenzone, mit besonderer Berücksichtigung von Ostindien, 2. —

Universität Zürich. **Meyer:** Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme, 5, Ergänzungen, 1, Seminar (mit Bär), 2 g; Physikalisches Kolloquium (mit Wentzel und Bär), 2 g; Physikalisches Praktikum, für Anfänger, $3^1/_2$, für Vorgerückte, tägl., Ausführung selbständiger wissenschaftlicher Arbeiten, tägl. — **Wentzel:** Mechanik der Punktsysteme und der starren Körper, 4, Übungen, 1; Ausgewählte Probleme der Quantentheorie, 2; Theoretisch-physikalisches Seminar, 2 g. — **Ratnowsky:** Vektoranalysis, 2. — **Bär:** Übungen im Demonstrieren von Schulexperimenten, 2, Theoretische Ergänzungen, 1 g. — **Zuber:** Wechselströme, 1; Repetitorium der Experimentalphysik, 1. —

Technische Hochschule Zürich. **Scherrer:** Physik I, 4, Übungen, 2 und 1; Atomumwandlungen, 1; Physikalisches Praktikum für Anfänger, 4 und 8, für Fortgeschrittene, 8, 12 und 24; Physikalisches Kolloquium (mit Pauli), 2; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24. — **Pauli:** Statistische Mechanik und Quantentheorie, 3, Übungen, 1; Differentialgleichung in der mathematischen Physik, 2; Wissenschaftliche Arbeiten in theoretischer Physik, tägl. — **Tank:** Experimentalphysik II, 3, Übungen, 1; Hochfrequenztechnik I, 2; Technische Optik, 2; Praktikum in Hochfrequenztechnik, 4, 8 und 12; Selbständige Arbeiten in Physik, 8, 12 und 24; Diplomarbeiten in Hochfrequenztechnik; Kolloquium über technische Physik und elektrische Nachrichtentechnik (mit Fischer und Forrer), 1. — **Fischer:** Lichttechnik, 2; Leitung selbständiger Arbeiten für Technische Physik, tägl. — **Gassmann:** Geophysikalische Methoden, 2, Übungen, 3; Kolloquium für Astronomie und Geophysik (mit Brunner), 1 g. — **Trümpler:** Wärmeübergangsfragen der chemischen Technik, mit Übungen, 1 g. — **Sänger:** Dielektrizitätskonstante und chemische Konstitution, 2; Ausgewählte Kapitel der Spektroskopie, 1 g. — **Rüst:** Photographie I, 2; Mikrophotographie, 1; Photographisches Praktikum, 2; Photographisches Vollpraktikum, tägl. — **Herzog:** Elektromagnetische Wellen, 2. — **Kienast:** Theorie der Matrizen, 2. — **Lehmann:** Wetter- und Klimalehre, 2; Allgemeine Meteorologie mit Rücksicht auf das Flugwesen, 1. —

NACHRICHTEN.

Habilitiert: an der Universität Budapest Dr. Theobald Neugebauer für Physik speziell Quantentheorie, an der Universität Wien Dr. Friedrich Lauscher für Physik.

Ernannt: der Privatdozent für anorganische Chemie an der Universität Göttingen Dr. Erich Manegold zum a. o. Professor daselbst, der nichtbeamtete a. o. Professor an der Technischen Hochschule Stuttgart Dr. Hermann Reiher zum ord. Professor der technischen Physik ebenda, der Dozent für technische Physik an der Universität Jena Dr. Harald Müller in gleicher Eigenschaft an die Universität Berlin, der a. o. Professor an der Universität Leipzig Dr. Artur Schleede zum ord. Professor der anorganischen Chemie an der Technischen Hochschule Berlin, der Privatdozent für Physikalische Chemie an der Technischen Hochschule Hannover Dr. Wilhelm Jost zum a. o. Professor ebenda, der Dozent Dr. hab. Walter Rosemann an der Technischen Hochschule Hannover zum a. o. Professor der Mathematik ebenda, der ord. Professor an der Universität Rostock Dr. Christian Füchtbauer zum ord. Professor der Physik an der Universität Bonn.

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. P. Debye in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
DA.: 1400. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig.